



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÉ ASPEKTY ŘEZÁNÍ VALCOVANÝCH MATERIÁLŮ

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF CUTTING OF ROLLED MATERIALS

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. DALIBOR KUBLA

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Doc. Ing. JAROSLAV PROKOP, CSc.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Dalibor Kubla

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie a průmyslový management (2303T005)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Technologické aspekty řezání válcovaných materiálů

v anglickém jazyce:

Technological aspects of cutting of rolled materials

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Specifikace a technologicko ekonomická analýza parametrů řezání válcovaných materiálů na pilách.

Cíle diplomové práce:

1. Přehled metod dělení válcovaných materiálů
2. Technologie řezání válcovaných materiálů
3. Technologicko-ekonomické parametry procesu řezání válcovaných materiálů
4. Ekonomická analýza a optimalizace řezání válcovaných materiálů

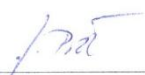
Seznam odborné literatury:

- HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. MM publishng,s.r.o. Praha: 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
- KŘÍŽ, R. a VÁVRA, P. Strojírenská příručka 7.svazek. 1.vyd. Praha: Scientia, 1996. 212 s. ISBN 80-7183-024-0.
- KOCMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
- KŘÍŽ, R. a VÁVRA, P. Strojírenská příručka 7.svazek. 1.vyd. Praha: Scientia, 1996. 212 s. ISBN 80-7183-024-0.
- PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2009. 251 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
- VIGNER, M, PŘIKRYL, Z. a kolektiv. Obrábění. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1984. 800 s.
- ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002.160 s. ISBN 80-214-2219-X.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 23.11.2011



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu





prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá dělením hutního materiálu řezáním, ale i obecnými metodami dělení materiálu jako takového. Cílem je zaměřit se na řezání válcovaných materiálů na pilách, stanovení technologických parametrů a provedení technologicko-ekonomické analýzy.

Klíčová slova

Řezání, metoda, princip, technologie, materiál, konvenční, nekonvenční, parametr, pila, kotouč, pásová pila.

ABSTRACT

This master's thesis deals with separation of metallurgical materials focused on cutting and other general methods of material separation. The aim of this thesis is to focus on cutting of rolled material by saw, specification of technological aspects of cutting of rolled materials, techno-economic analysis of the problem.

Key words

Cutting, methods, principles, technology, material, convention, unconvention, parameter, saw, blade, band saw machine.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KUBLA, Dalibor. *Technologické aspekty řezání válcovaných materiálů*. Brno 2012. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 64 s., příloh 9. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Technologické aspekty řezání válcovaných materiálů vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

25.5.2012

Bc. Dalibor Kubla

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Jaroslavu Prokopovi, CSc. a výrobnímu řediteli společnosti UNEX, a.s. Zdeňku Tužičkovi za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

V neposlední řadě bych rád poděkoval hlavně své skvělé rodině za nejen finanční, ale také psychickou podporu během mého celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ	7
ÚVOD.....	10
1 PŘEHLED METOD DĚLENÍ VÁLCOVANÝCH MATERIÁLŮ	11
1.1 Konvenční metody dělení materiálu	11
1.1.1 Dělení materiálu řezáním.....	11
1.1.2 Dělení materiálu stříháním.....	12
1.1.3 Dělení materiálu rozbrušováním.....	12
1.1.4 Dělení materiálu třením	13
1.1.5 Dělení materiálu upichováním.....	13
1.1.6 Dělení materiálu lámáním.....	13
1.2 Nekonvenční metody dělení materiálu	14
1.2.1 Elektroerozivní dělení.....	15
1.2.2 Řezání plazmou.....	15
1.2.3 Řezání laserem	16
1.2.4 Řezání paprskem elektronů.....	17
1.2.5 Elektrochemické dělení.....	17
1.2.6 Chemické dělení	19
1.2.7 Ultrazvukové dělení	19
1.2.8 Dělení paprskem vody	20
2 TECHNOLOGIE ŘEZÁNÍ VÁLCOVANÝCH MATERIÁLŮ	21
2.1 Rámové pily	21
2.2 Pásové pily	25
2.3 Kotoučové pily.....	33
2.4 Řezání děr	35
2.5 Porovnání produktivity řezání na strojních pilách	36
3 TECHNOLOGICKO – EKONOMICKÉ PARAMETRY PROCESU ŘEZÁNÍ.....	37
3.1 Parametry procesu řezání	37
3.2 Experimentální stanovení vybraných parametrů řezání	38
3.2.1 Zkušební přířezy	38
3.2.2 Pásová pila	39
3.2.3 Měřicí přístroj	40
3.2.4 Hodnocené parametry	41

3.2.5 Výsledky stanovených hodnot	41
4 EKONOMICKÁ ANALÝZA A OPTIMALIZACE ŘEZÁNÍ.....	45
4.1 Důvody ke koupi pily	47
4.2 Vytížení řezárny.....	48
4.3 Layout řezárny	49
4.4 Ekonomická návratnost.....	50
4.4.1 Vstupní hodnoty.....	50
4.4.2 Úspora nákladů za materiál.....	50
4.4.3 Potřebná úspora práce	52
ZÁVĚR	54
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	55
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	61
SEZNAM TABULEK	63
SEZNAM PŘÍLOH.....	64

ÚVOD

Dělení materiálů řezáním je jednou ze základních operací technologických postupů. Tyčový válcovaný a tažený materiál vyžaduje před samotným obráběním na univerzálních soustruzích a dalších typech strojů rozřezání na určité délky, které jsou stanoveny rozměry obrobků.

Dělení materiálů se nepoužívá nejen u tyčových válcovaných či tažených materiálů, ale také polotovarů vyrobených litím nebo tvářením.

Historie vzniku prvního pilového listu (první ruční pila) sahá až do roku 2 700 př. n. l., kdy staří Egypťané vyměnili pazourkovou pilu za pilu s bronzovým pilovým listem. K dalšímu vývoji přispěli Římané, kteří svým objevem (střídavé vyhnutí zubů na obě strany) předešli uvíznutí pily v řezu. I známý vynálezce Leonardo da Vinci zasáhl do vývoje pily. Přišel s myšlenkou, která zabezpečovala záběr pily při obou směrech pohybu. Zdokonalení spočívalo v obrácení každého druhého zubu „čelem vzad“. S koncem Velké francouzské revoluce přichází také k podvědomí tzv. pila *bez konce*, dnes známá jako pila kotoučová.

Současná výroba pil je soustředěna na výrobu ze speciálně zušlechťených ocelí. Výzkum se specializuje i na tvar ozubení. Pravidelnost roztečí, tvar zubů a zubových mezer kotouče ovlivňuje jeho rozkmitání a současné ucpávání řezu, což vede k nižšímu výkonu a celkově kratší životnosti nástroje pily.

Ukázka pracovního prostředí dnešní kotoučové pily je znázorněna na obr. 1.



Obr. 1. Dělení plného materiálu na dělicí lince kotoučovou pilou [32]

1 PŘEHLED METOD DĚLENÍ VÁLCOVANÝCH MATERIÁLŮ

Dělení materiálu se provádí dvěma metodami:

- konvenční metody,
- nekonvenční metody.

1.1 Konvenční metody dělení materiálu

Pro dělení konvenčními metodami, které jsou znázorněny na obr. 1.1, je specifické silové odebrání třísky.



Obr. 1.1 Rozčlenění konvenčních metod dělení hutního materiálu

1.1.1 Dělení materiálu řezáním

Tato metoda je jednou z nejpoužívanějších při dělení tyčového materiálu. Řezání se provádí na pásových pilách, rámových pilách a na kotoučových pilách. Dále viz kapitola 2.

1.1.2 Dělení materiálu stříháním

Stříhání se používá v pracovním procesu zejména v kovárnách a válcovnách a provádí se za studena. Stříhají se plechy, pásy, tyče a profilové materiály. [9, 40]



Obr. 1.2 Ruční nůžky na plech [16]

Stroje a nástroje pro stříhání:

- ruční nůžky (obr. 1.2) – pro malé kusy a pro plechy do tloušťky 1 mm,
- ruční pákové nůžky (obr. 1.3) – pro pásy a plechy do tloušťky 1,5 mm,
- tabulové nůžky (obr. 1.4) – pro plechy a pásy do tloušťky 40 mm a tyče do průměru 50 mm.



Obr. 1.3 Pákové nůžky na plech

BSS 1250 E [20]



Obr. 1.4 Tabulové nůžky na plech

LVD MVS [37]

1.1.3 Dělení materiálu rozbrušováním

Nástrojem je rozbrušovací řezací kotouč o průměrech 20 až 600 mm. Rozbrušování je vhodné pro materiály s vyšší pevností a tvrdostí. Obvodové rychlosti kotoučů jsou 60 – 125 m.s⁻¹. [9]

Výhodou je úzký a čistý řez. Nevýhodou je vysoká spotřeba nástroje zapříčiněna účinkem tepelného opotřebení nástroje. [9]

1.1.4 Dělení materiálu třením

Tato metoda se používá zejména pro dělení tenkostěnných materiálů. Nástrojem je třecí kotouč, který je po obvodu zdrsňený. Také lze použít pilový pás, který má nízký profil zubů. [9]

Povrchová vrstva děleného materiálu se v místě interakce nástroje s obrobkem ohřívá na vysokou teplotu a obráběný materiál ztrácí svou tvrdost a pevnost a tím dochází ke snadnému oddělení. Obvodové rychlosti kotoučů se pohybují v rozmezí 60 až 150 m.s⁻¹.

Dělení třením je vysoce produktivní metoda, která nevyžaduje příliš vysoké náklady a řez nástrojem tvoří úzký a čistý řez. [9]

1.1.5 Dělení materiálu upichováním

Dělení se provádí na univerzálních soustruzích nebo na upichovacích automatech. Tato metoda je vhodná pro velmi přesné polotovary, ale příliš se v praxi nepoužívá, jelikož je finančně náročná. [35]

1.1.6 Dělení materiálu lámáním

Dělení materiálu lámáním se provádí za studena. Lámání není vhodné pro měkké materiály z důvodů možného ohnutí. Materiály určené k lámání musí mít mez pevnosti R_m větší než 600 MPa. [9, 14]

V místě lomu se do děleného materiálu vysekne nebo nařízne vrub šířky 5 až 7 mm a jeho hloubka je rovna desetině průměru polotovaru.

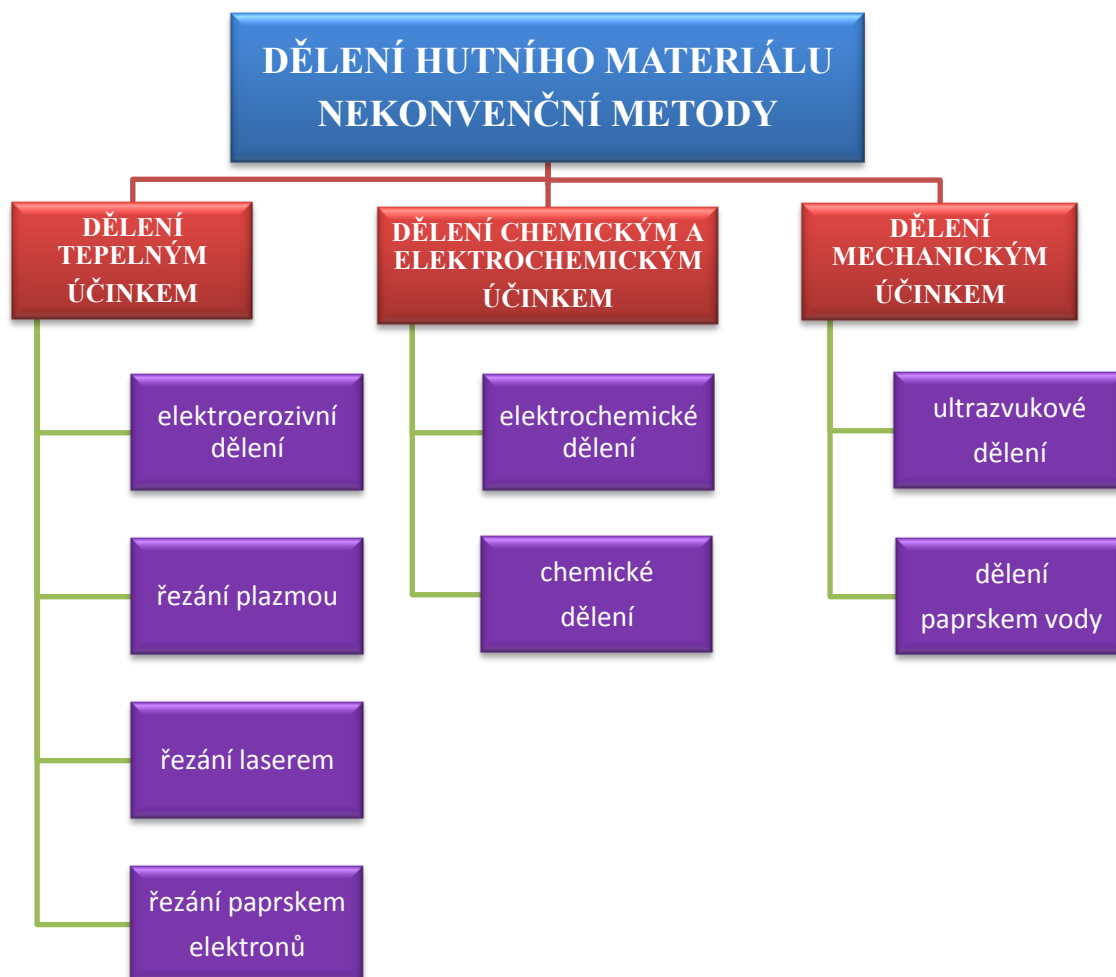
Lámání je vhodné pro polotovary ke kování nebo lisování za tepla. [9, 14]

1.2 Nekonvenční metody dělení materiálu

Technologie nekonvenčních metod je založena na využití fyzikálních nebo chemických vlastnostech děleného materiálu.

Jedná se o speciální metody dělení materiálů, které využívají procesy založené na přírodních zákonitostech o erozi materiálu. Pro „nástroj“ u nekonvenčních metod, kterým může být elektroda, tryska, drát apod., je charakteristické, že nedochází k přímému kontaktu s obrobkem. Tyto nástroje vytvářejí určitou formu energie, která podporuje erozi obráběného materiálu a díky tomu dochází k dělení. [26]

Dělení nekonvenčními metodami se provádí zejména pro tvarové vyřezávání. Druhy těchto metod jsou vyobrazeny na obr. 1.5.



Obr. 1.5 Rozčlenění nekonvenčních metod dělení materiálů

1.2.1 Elektroerozivní dělení

Elektroerozivní obrábění se zakládá na přeměně tepelné energie na elektrické výboje, které vznikají mezi elektrodou a obrobkem. [9, 38]

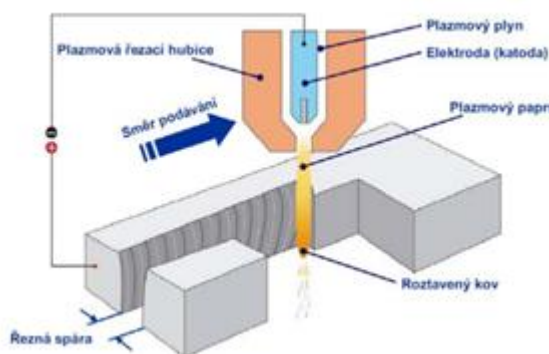
Existují čtyři druhy tohoto dělení a to v souladu s druhem elektrického výboje, parametrem dělení a zdrojem impulsního toku:

- elektrojiskrové dělení,
- elektroimpulsní dělení,
- elektrokontaktní dělení,
- anodomechanické dělení. [9, 38]

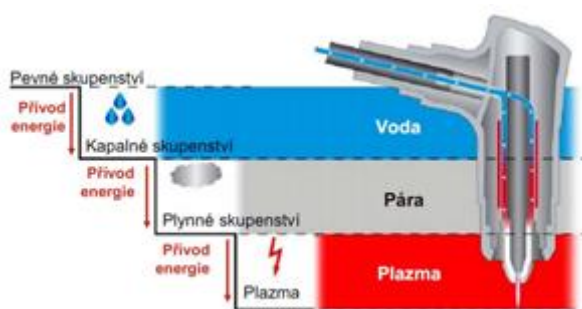
1.2.2 Řezání plazmou

Princip řezání plazmou spočívá v lokálním ohřevu materiálu nad tavicí teplotu. Hloubka tepelně ovlivněné vrstvy nepřesahuje 1 mm. Plazma je směs volných elektronů, kladně nabitých iontů a neutrálních atomů. Plazma dosahuje extrémně vysokých teplot (10 000 až 30 000 °C) a je vytvářena plazmovým hořákem. Mezi katodou (wolframová elektroda) a anodou (měděná tryska) hoří elektrický oblouk a tím dochází k rozkladu molekul plynu. [9, 38]

Při řezání plazmou (obr. 1.6) dochází k negativním přírodním jevům, jako je např. hluk, kouř, prach a ultrafialové záření. Pro co nejvíce možné zaopatření proti těmto jevům se používá tzv. *systém Hydroterm*, který využívá při řezání přívodu vody do hořáku. [9, 38]



Obr. 1.6 Schematické znázornění rezného procesu [34]



Obr. 1.7 Schematické znázornění jednotlivých skupenství látky [34]

Schematické znázornění jednotlivých skupenství látky je vyobrazeno na obr. 1.7.

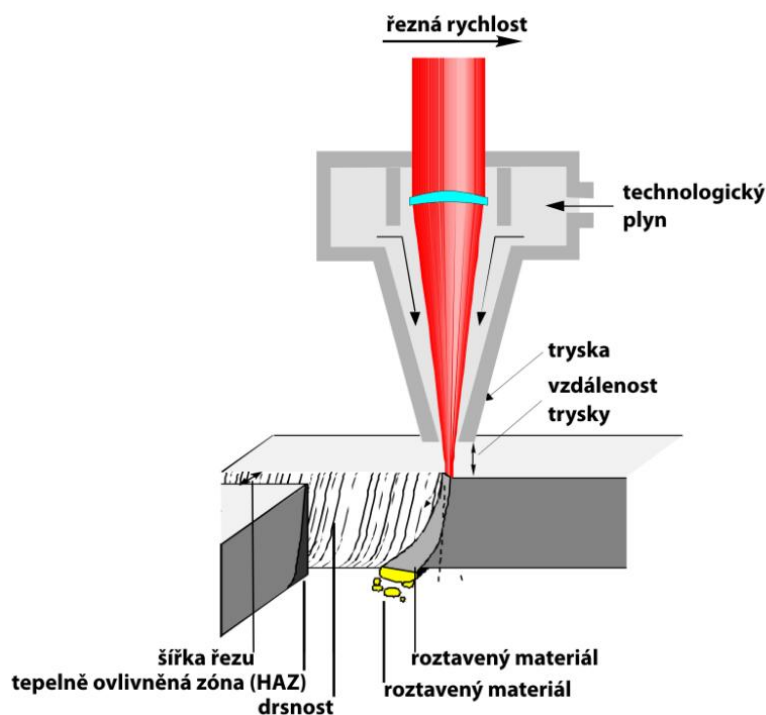
1.2.3 Řezání laserem

Generátorem svazku paprsků světla o vysoké intenzitě je tzv. *laser* (z anglického názvu **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation = zesílení světla za využití stimulované energie). [10, 39]

Rozdělení laseru podle typu aktivního prostředí:

- plynové – směsi helia a argonu, CO₂,
- pevnolátkové – Nd:YAG (monokrystal ytrium aluminium granátu dopovaného atomy neodymu),
- vláknové – optické vlákno dopované atomy erbia nebo yterbia,
- polovodičové – elektricky čerpaná polovodičová dioda, arzenid galia,
- chemické – lasery buzené chemickou reakcí,
- excimer – lasery buzené elektrickým výbojem,
- barvičkové – za použití organických barviv. [10, 39]

Princip řezání pomocí laseru je znázorněn na obr. 1.8.



Obr. 1.8 Princip laserového řezání [39]

Při řezání laserem dochází k třem různým procesům:**1. substituční řezání**

- dochází k odpařování materiálu z místa řezu,
- řez je velice kvalitní, hladký a bez otřepů.

2. tavné řezání

- zde dochází k roztavení materiálu v místě řezu,
- roztavený materiál je vyfukován proudem asistenčního plynu.

3. řezání plamenem

- při řezání plamenem dochází k velmi vysokým řezným rychlostem,
- jako asistenční plyn je používán kyslík,
- materiál se zahřeje na teplotu vyšší než teplotu zápalnou a tím dojde k exotermické reakci. [9, 10, 39]

V praxi ve většině případů při řezání laserem dochází ke kombinaci těchto třech procesů. [9, 10, 39]

1.2.4 Řezání paprskem elektronů

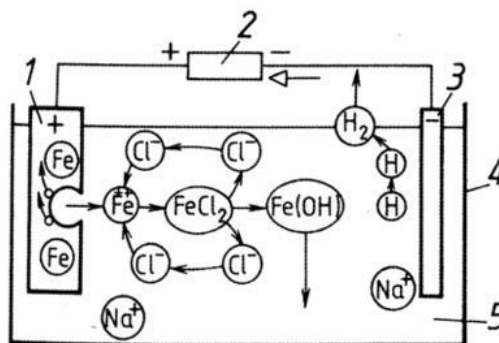
Tato technologie spočívá ve využití paprsku elektronů, který je soustředěný na malou plochu obklopuje velmi vysokou rychlostí. V bodě řezu dochází k přeměně kinetické energie na energii tepelnou. [9, 27, 30]

Nejideálnější prostředí pro řezání paprskem elektronů je vakuum, jelikož ve vakuu nehrozí, že dojde k chemické reakci elektronů a molekul vzduchu. V případě, že by došlo k předpokládané chemické reakci, tím by se snížily řezné parametry. [9, 27, 30]

1.2.5 Elektrochemické dělení

Tato metoda využívá poznatků o působení elektrického proudu na elektrolyt. Jedná se tak o fyzikální jev zvaný *elektrolýza* (rozpuštění materiálu). Elektrochemické obrábění je beztržkové, jelikož nedochází k žádnému silovému účinku. [13, 27]

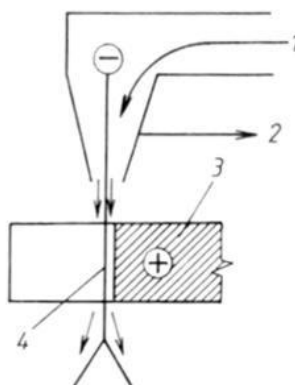
Principem této technologie je ponoření obrobku (anody) do elektrolytu, viz obr. 1.9. Po ponoření vzniká reakce, při které se slučují kationty elektrolytu a anionty kovu na povrchu obrobku a tím dochází k postupnému ubírání kovu z anody. [13, 27]



Obr. 1.9 Schéma elektrochemického obrábění; 1 – obrobek (anoda), 2 – napájecí zdroj, 3 – nástroj (katoda), 4 – pracovní vana, 5 – elektrolyt [13]

Pro dělení materiálu se používají metody:

- řezání drátovou elektrodou,
- řezání štěrbinovým nástrojem.



Obr. 1.10 Schéma elektrochemického dělení materiálu drátovou elektrodou; 1 – přívod elektrolytu, 2 – směr pohybu nástroje, 3 – obrobek, 4 – elektroda [13]

1.2.6 Chemické dělení

Technologie chemického obrábění je založena na procesu řízeného odleptávání materiálu z povrchu obrobku. Tato metoda se používá pro leptání, termické odstraňování otřepů a chemické prostřihování. [9, 13, 27]

- **leptání** – nástrojem je kyselina či hydroxid a vlivem chemické reakce dochází k řízenému úběru vrstvy materiálu. Povrch, který nemá být leptán je chráněn speciálním povlakem – tzv. *maskou*. Tato metoda je spíše určena pro měkké materiály (hliník, slitiny hliníku apod.) [9, 13, 27]
- **termické odstraňování otřepů** – proces je založen na chemicko-tepelné reakci mezi dvěma látkami, tvořící nástroj. K obrábění dochází v uzavřené pracovní komoře, ve které jsou obrobky uzavřeny. V této komoře se pomocí elektrické jiskry zapaluje směs vodíku a dusíku. Vlivem zapálení jiskry vzroste teplota v komoře až na 3500 °C a díky tomu dochází k rychlému upalování nežádoucích otřepů na hranách obrobku. Po skončení procesu je nutno součást přeprat v tzv. ultrazvukových pračkách. [9, 13, 27]
- **chemické prostřihování** (děrování) – umožňuje zhotovení tenkých a tvarově složitých výlisků bez otřepů. Jedná se o přenos obrysu obrobku na polotovar fotochemickým tištěním. Tato metoda slouží pro výrobu elektrolechů pro elektromotory, elektrické kontakty a svorky, atd. [9, 13, 27]

Chemické obrábění je vhodné vesměs pro jakékoliv tvary a velké hmotnosti materiálu. Vhodné i pro odstraňování otřepů v dutinách. Nevýhodou je teplota působící na celý povrch obrobku a je nutné, aby součásti vkládané do pracovní komory byly důkladně očištěny. [9, 13, 27]

1.2.7 Ultrazvukové dělení

Princip dělení ultrazvukem je založen na obrušovacím účinku jemného brusiva, které je přivedeno mezi nástroj a řezaný materiál. Brusivo je tvořeno karbidem křemíku, bóru, nebo diamantu. To je pomocí nástroje následně rozkmitáno na vysokou frekvenci, které vyráží malé částice z materiálu obrobku. Zdrojem vysokofrekvenčního kmitání je magnetostrikční nebo piezoelektrický generátor. [19]

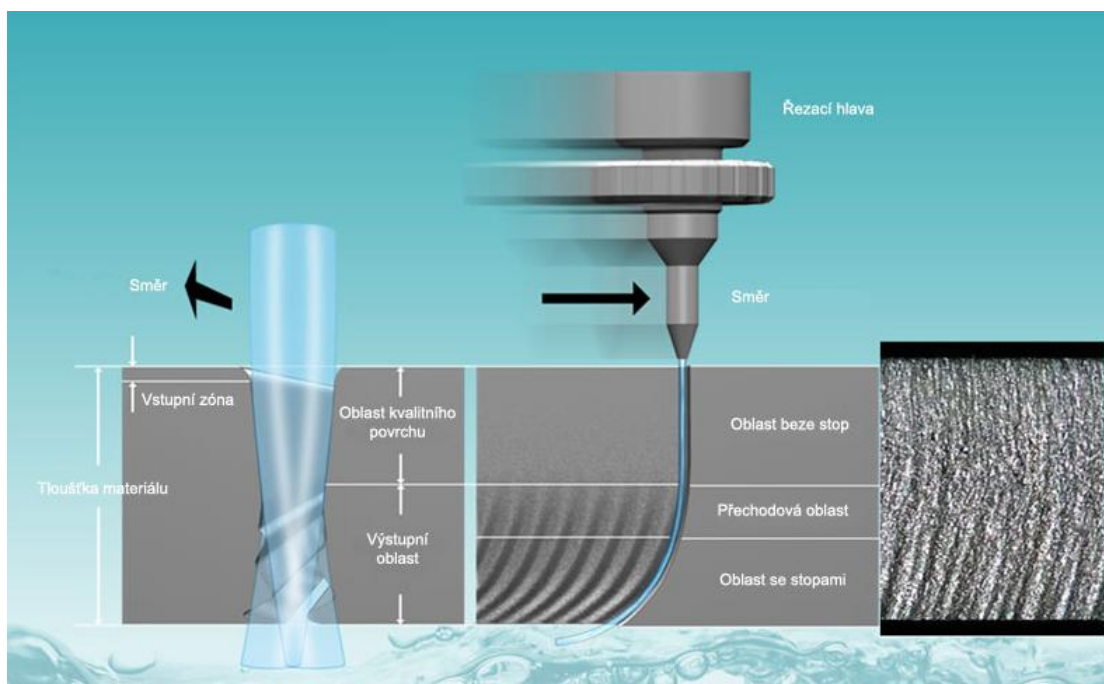
Metoda dělení ultrazvukem je vhodná pro dělení tvrdých materiálů a je použitelná pro materiály elektricky nevodivé, na rozdíl od elektroerozivních metod. U měkkých materiálů hrozí zaseknutí částic brusiva na povrchu děleného materiálu. [19]

1.2.8 Dělení paprskem vody

Princip obrábění paprskem vody (obr. 1.11) spočívá v abrazivním účinku tekoucí vody pod ultra vysokým tlakem z čerpadla přes vysokotlaké potrubí do řezací hlavy. [9, 36]

V praxi se využívá dvou typů technologií:

- **řezání čistou vodou** – pro řezání měkkých a lehkých materiálů velkou rychlostí (až 20 m.min^{-1}). Výhodami jsou např. velmi přesná geometrie řezu, nulové tepelné ovlivnění řezaného materiálu, nízké řezné síly a nepřetržitý provoz,
- **řezání abrazivním vodním paprskem** – pro řezání velmi tvrdých materiálů rychlostmi od 10 až $2\,500 \text{ mm.min}^{-1}$. Výhody jsou obdobné, jak u řezání čistou vodou. [9, 36]



Obr. 1.11 Princip řezání vodním paprskem a vznik rýhování vlivem zpoždění paprsku v řezaném materiálu [15]

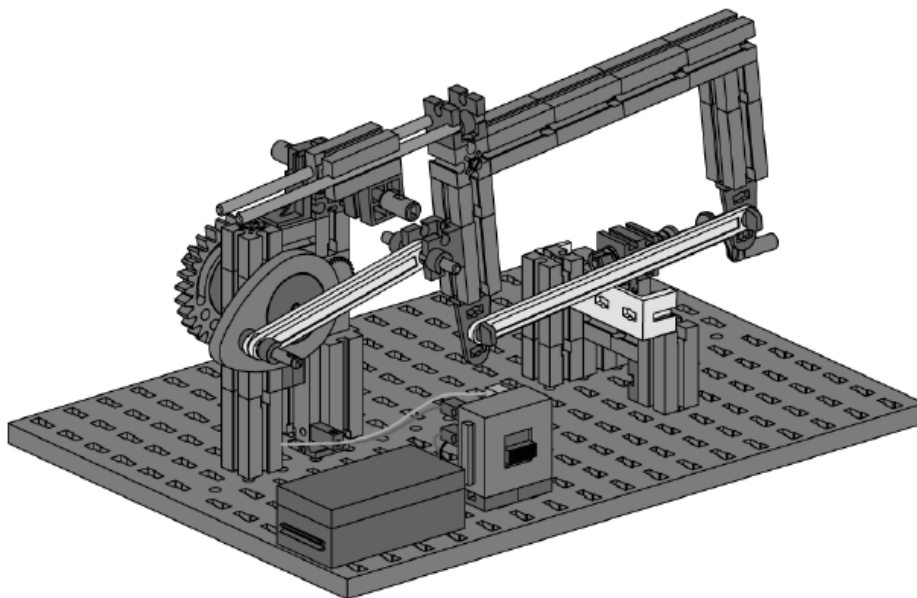
2 TECHNOLOGIE ŘEZÁNÍ VÁLCOVANÝCH MATERIÁLŮ

Tyčový válcovaný materiál je zapotřebí před obráběním rozřezat na určité délky, podle požadovaných rozměrů obrobku. Řezání se používá nejen u tyčových materiálů, ale také např. u součástí z desek, pásů a dalších typů polotovarů. [38]

Tato kapitola se zabývá dělením polotovarů pilami. Pily určené k dělení kovového materiálu jsou rozděleny do třech druhů (rámové, pásové a kotoučové).

2.1 Rámové pily

Rám pily, v němž je upnut *pilový list* (nástroj), vykonává přímočarý vratný pohyb pomocí klikového mechanismu (obr. 2.1). [5]



Obr. 2.1 Klikový mechanismus uvnitř rámové pily [29]

Při zpětném pohybu se rameno pily nadzvedává, aby nedocházelo k otěru zubů pásového listu o obrobek. Posuvová síla ramene při řezu je určena jeho hmotností. Zdvih u rámových pil se pohybuje v rozmezí 140 až 300 mm. [5]

Pilový list

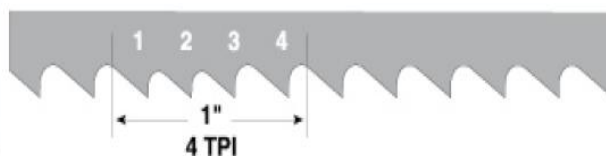
Pilové listy (obr. 2.2) jsou vyráběny jednostranně nebo oboustranně. Jednostranné ozubení se používá pro strojní pily a oboustranné ozubení zejména pro pily ruční. Tvar zubů je poměrně jednoduchý, jelikož na ně nejsou kladeny až tak velké požadavky, a aby se

předěšlo teplotnímu a silovému namáhání listu (zadření) při obrábění materiálu, je jeho řezná část rozvedena, popř. zvlněna. [38]

Listy se vyrábějí z vysoce kvalitní rychlořezné oceli o délkách 350 až 700 mm, šířky 20 až 55 mm a tloušťky 1,5 až 3 mm. Hustota zubů (obr. 2.3) je 4 až 22 na jeden palec. [38]



Obr. 2.2 Strojní pilový list [33]



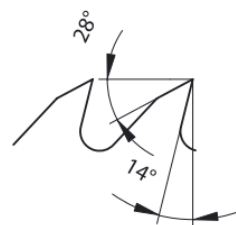
Obr. 2.3 Hustota zubů [25]

Tvary zubů:

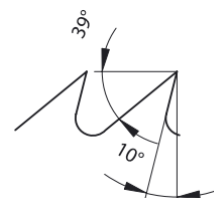
- a) vlčí ozubení (obr. 2.4)
- b) trojúhelníkové ozubení (obr. 2.5)



Obr. 2.4 Vlčí ozubení [24]



Obr. 2.5 Trojúhelníkové ozubení [24]



Dodržení zásad při řezání na rámových pilách:

- **tuhé upnutí listu a obrobku** - je velmi důležité, aby list s obrobkem byli kvalitně upevnění, jelikož při dělení dochází k velkým řezným silám,
- **napnutí listu** - při malém předpětí list podřezává a při velkém přepětí se list může přetrhnout,
- **správná volba listu** – volba listu závisí na tvaru, materiálu, tvrdosti a rozměru obrobku,

- **vhodná řezná kapalina** - řezná kapalina slouží hlavně jako chladicí a mazací faktor. Zvyšuje trvanlivost nástroje, produktivitu řezání, odstraňuje třísky z místa řezu a zubových mezer listu.

Závady pilových listů a jejich příčiny:

1. rychlé otupení

- nesprávné upevnění listu,
- velká řezná rychlost a tlak,
- nedostatečné chlazení.

2. vylamování zubů

- nedostatečný počet zubů v záběru.

3. zlomení listu

- špatné upnutí listu,
- špatná volba listu.

4. křivý řez

- příliš velký tlak a nevhodný pilový list,
- tvrdá místa v řezaném materiálu. [12]

Tab. 2.1 Doporučený počet zubů na 25 mm šířku listu pro jednotlivé druhy materiálu podle [12]

MATERIÁL	Průměr materiálu [mm]		
	10 – 30	30 – 100	100 – 250
Počet zubů na 25 mm			
konstrukční ocel			
automatová ocel	8–14	6 – 8	4 – 6
stavební ocel			

zušlechtěná ocel	8 – 14	6 – 8	4 – 6
nitridová ocel			
nelegovaná nástrojová ocel	8 – 10	4 – 6	4
legovaná nástrojová ocel			
pérová ocel	8 – 14	6 – 8	4 – 6
žárupevná ocel	6 – 8	4 – 6	4 – 6
nerezová ocel			
ocel a temperová litina do 200 HB	6 – 8	4 – 6	4
šedá litina přes 200 HB			
litina	8 – 10	6 – 8	4 – 6
dural			
bronz	4 – 6	4 – 6	4 – 6
hliník			
mosaz			

Pro příklad ukázky rámové pily je použita rámová pila KASTO HBS 1 (obr. 2.6) a její technické parametry (tab. 2.2).



Obr. 2.6 Rámová pila KASTO HBS 1 [4]

Tab. 2.2 Technické parametry rámové pily KASTO HBS 1 podle [4]

ŘEZNÝ ROZSAH	
	kulatina / hranol / plochý hranol (š x v)
90°	210 / 210 x 210 / 240 x 190
45°	150 / 145 x 145 / 150 x 100 a 130 x 210
ROZMĚRY	
délka	1 190 mm
šířka	480 mm
výška	810 mm
max. bod	1 230 mm
výška vyložení materiálu	500 mm
váha	170 kg
VÝKONNOSTNÍ PARAMETRY	
celkový příkon	1,1 kW
výkon motoru	0,8 kW
řezná rychlost	16 až 32 m.min ⁻¹
rozměr pilového listu	400 x 30 x 1,5 mm

2.2 Pásové pily

Při řezání materiálu na pásových pilách dochází k nejmenším ztrátám materiálu prořezem a tím se dosahuje mnohem větší produktivity práce než u pil rámových. Tato metoda je vhodná pro dělení kvalitnějších a nákladnějších materiálů.

Pásové pily se rozdělují na svislé a vodorovné. Speciální pily mají naklápěcí nebo otočný stůl. *Pilový pás* (nástroj) je veden pomocí dvou kotoučů (hnací a hnáný). [38]

Pilové pásy

Pilové pásy jsou k sobě svařovány na délky 3 500 až 8 300 mm nebo jsou vyráběny rovnou ve svitcích (celku) o délce až 25m.

Volba pilového pásu je ovlivněna typem obrobku, stroje a obráběného materiálu. Pásky se vyrábějí z nástrojových ocelí nebo jsou vyrobeny v provedení bimetalickém.

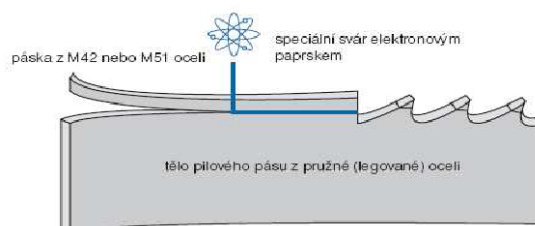
a) Pásky z nástrojových ocelí

Pro výrobu pásů z nástrojové oceli se nejčastěji používá nízkolegovaná nástrojová ocel legovaná wolframem nebo chromem. Řezná část zubů je vysokofrekvenčně kalená na tvrdost 64 až 65 HRC. Tyto pásy se používají zejména pro dělení běžných typů materiálu. [5]

b) Bimetalické pásy

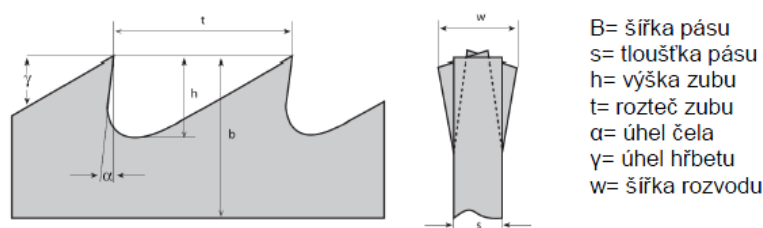
Bimetalické pásy (obr. 2.7) se vyrábějí moderní technologií. Na hranu pásu se navaří elektronovým paprskem HSS ocel (M42 nebo M51) a díky tomu se docílí delší životnosti pásu, vysoké tvrdosti špiček zubů a vyšší odolnosti vůči ohybu a krutu. [5]

Geometrie tvaru zubů je znázorněna na obr. 2.8.



Obr. 2.7 Bimetalický pilový pás [5]

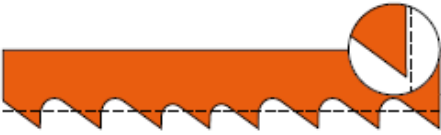
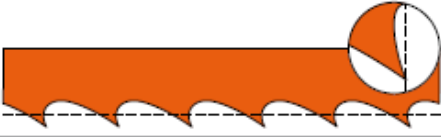
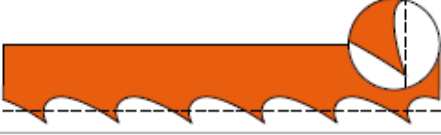
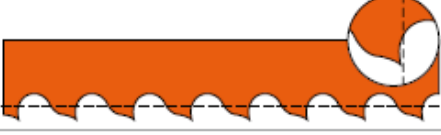
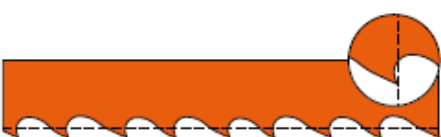
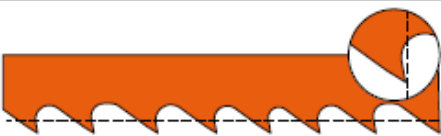


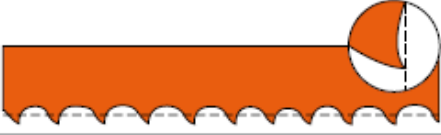

Geometrie tvaru zubů:



Obr. 2.8 Geometrie tvaru zubů pilových pásů [5]

Tvary zubů:**a) bimetalové profily zubů**










Tab. 2.3 Bimetalové zuby [25]

Combo	Tradiční tvar zubů s úhlem čela 0°. Vhodný pro všestranné využití při řezání tenkostěnných trubek a profilů z většiny materiálů.	
Hákovité zuby	Tradiční tvar zubů s úhlem čela 10°, vhodných pro řezání neželezných kovů, dřeva a plastů.	
HA	Vývojový stupeň tradičních hákovitých zubů pro řezání hliníku ve slévárnách.	
PF	Tvar zubů, speciálně vyvinutý pro řezání svazků trubek a profilů, s vynikající kapacitou a životností pilového pásu. Velmi silné zuby s pozitivním úhlem čela 6 stupňů.	
PQ	Velmi agresivní tvar zubů (úhel 17°) umožňuje dobrý řezací výkon u materiálů náročných na řezání jako jsou trubky z nerezové ložiskové oceli, nářadová ocel, nebo speciální slitiny s vlastnostmi tvrzených materiálů. Různé úrovně rozvedení zubů vytváří profil řezu s různými tlískami, což vyžaduje menší síly při řezání a prodlužuje životnost pilového pásu.	
PR	Inovativní stupňový úhel sklonu 10° u rozteče zubů 2/3 & 3/4 a 8° u rozteče zubů 4/6 a 5/8. Tyto vlastnosti umožňují využívání pásu PR pro nenáročné průmyslové nasazení na řezání malých až středně velkých obrobků.	
PS	Vysokovýkonný pilový pás s úhlem čela 10-15°. Klínovitý tvar zubů a velkorozměrné drážky jsou zárukou vynikajících vlastností pásu při řezání velkých obrobků.	
EZ	Tento tvar zubů se používá při pilových pásích Easy Cut. Tento patentovaný tvar zubů, odolných vůči zanášení, umožňuje univerzální využití pásu na řezání všech běžných druhů materiálů. Ideální pro malé provozy, kde se řezou různé velikosti široké škály materiálů	
PSG	Combo PSG jsou broušené zuby s pozitivním úhlem čela. Tento tvar zubů je ideální na průmyslové řezání středních až velkých průměrů obrobků z nejrůznějších materiálů, zejména legovaných a nerezových ocelí.	
PHG	Combo PHG je patentovaný tvar zubů s pozitivním úhlem čela, které se vyznačují dobrým vnikáním do těžce řezatelných slitin a kalených materiálů velkých průměrů.	

b) karbidové profily zubů


Konce zubů jsou tvořeny kuličkou wolframu, která je následně ve výrobě dobroušena do požadovaného profilu zubů.

Tab. 2.4 Zuby z karbidu wolframu [25]

THQ	Tento typ zubů je určen na řezání austenitických superslitin jako Inconel, Waspaloy a titanu. Standardně se široce rozvedenými zuby pro případy s rizikem zaseknutí, vytváří 7 třísek na snížení tření a prodloužení životnosti. Používá se na řezání malých až středně velkých obrobků.	
TMC	Tento tvar zubů se používá u pilových listů s nerozvedenými zuby z tvrdého kovu. Tvoří jej série 7 zubů a vyniká při řezání tvrdých slitin v stacionárních strojích.	
TMC-W	Stejný tvar zubů jako u TMC, ale se širším rozvedením na zamezení uvíznutí, zejména při řezání austenitických slitin Inconel s cementovaným povrchem.	
TS	Pilový pás se sérií třech zubů s úhlem čela 7°, určený pro řezání ve slévárně, ale vhodný i na řezání úzkých pásů nerezových a vysokolegovaných ocelí.	
TSX	Tento typ pásu se sérií třech zubů má úhel čela 10° a je ideální na řezání velkých, těžce řezatelných a abrazivních materiálů. Výhodou rozvedených zubů je menší riziko zasekávání v méně stabilních strojích ve srovnání s pásy s nerozvedenými zuby.	
TSS	Stejný tvar zubů jako TSX, ale pás byl „zaběhnut“ během výroby. Nevyžaduje záběh ve stroji a proto jej lze hned používat při plné rychlosti / posunu při řezání nerezové oceli. Jde o jedinečný a patentovaný tvar zubů.	
THS	Stejný tvar zubů jako THQ, ale s mimořádně nízkou úrovní hlučnosti. Není vhodný na řezání titanu.	
Multi-Grit C Continuous	Multi-grit je řada pilových pásů s břity s povrchem pokrytým drtí wolfram-karbid. Tyto pásy byly vyvinuty na základě přímých požadavků průmyslových aplikací zahrnující stále se zvětšující počet složitých a brusných materiálů. Umí řezat keramické materiály, pneumatiky, grafit, laminát, kabely z kompozitových materiálů, ocel tvrzenou sklem, super slitiny a popouštěná ocel.	
Multi-Grit G Gulleted		


Souhrn doporučených řezných rychlostí jsou uvedeny v tabulkách 2.5 a 2.6

Tab. 2.5 Doporučené řezné rychlosti bimetalových pilových pásů [25]

Bimetal		Metry za minutu při Ø mm				CHLADICÍ MEDIUM
	Materiál	10-65	100-300	400-800	>1000	
1	Konstrukční oceli, strojové oceli	100	85-95	60-75	40-60	6%
2	Konstrukční oceli, kalené a popouštěné oceli	80	70-80	60-68	40-50	6%
3	Cementované, pružinové, kalené a popouštěné oceli	75-100	60-80	45-65	30-40	8%
4	Nelegovaná nástrojová ocel, ložisková ocel	60-65	55-60	35-45	25-35	8%
5	Rychlořezná ocel	45-50	40-45	30-35	20-25	8%
6	Nástrojová ocel, zpracovaná za studena	30-35	25-30	20-25	15-20	DRY
7	Nástrojové oceli, legované	45-65	45-60	40-60	20-40	8%
8	Nitridační oceli, vysokolegované oceli, zpracované za tepla	40-45	35-40	25-30	20-25	8%
9	Litina	50-60	45-50	30-40	25-30	DRY
10	Nerezové a kyselinovzdorné oceli (lehké)	40-45	40-45	35-40	30-40	10%
11	Nerezové a kyselinovzdorné oceli (těžké)	35-40	30-35	20-30	19-22	10%
12	Duplexní a žáruvzdorné oceli	25-30	20-25	15-20	14-16	10%
13	Niklové a niklokobaltové slitiny	15-20	13-15	10-12	10	10%
14	Titan, titanové slitiny; hliníkový bronz	30-35	25-30	20-25	16-18	10%
15	Horizontální stroje, hliník, slitiny hliníku	120	120	120	120	25%
16	Vertikální stroje, hliník, slitiny hliníku	3000	2100-2500	1250-2000	500-1200	25%
17	Mosaz	120	120	90-120	80-100	4%
18	Měď	120	110	80-100	60-80	15%

Čím větší velikost, tím nižší rychlost

Tab. 2.6 Doporučené řezné rychlosti karbidových pilových pásů [25]

Zuby z tvrdého kovu		Metry za minutu při Ø mm				CHLADICÍ MEDIUM
	Materiál	10-65	100-300	400-800	>1000	
1	Konstrukční oceli, strojové oceli	200	160-190	110-150	60-90	12%
2	Konstrukční oceli, kalené a popouštěné oceli	140	120-140	85-115	50-70	12%
3	Cementované, pružinové, kalené a popouštěné oceli	120-130	110-120	75-110	40-60	10%
4	Nelegovaná nástrojová ocel, ložisková ocel	100-120	90-100	60-90	40-50	10%
5	Rychlořezná ocel	100-110	80-90	60-75	50-60	10%
6	Nástrojová ocel, zpracovaná za studena	80-100	60-90	60-75	45-65	DRY
7	Nástrojové oceli, legované	85-95	80-90	60-70	50-60	8%
8	Nitridační oceli, vysokolegované oceli, zpracované za tepla	75-85	70-80	60-70	45-60	8%
9	Litina	90-105	90-95	60-75	40-55	12%
10	Nerezové a kyselinovzdorné oceli (lehké)	80-110	80-100	70-95	65-80	12%
11	Nerezové a kyselinovzdorné oceli (těžké)	80-90	70-80	60-70	40-50	13%
12	Duplexní a žáruvzdorné oceli	100-115	80-100	65-80	50-60	12%
13	Niklové a niklokobaltové slitiny	30-40	25-30	20-28	15-20	12%
14	Titan, titanové slitiny; hliníkový bronz	50-60	40-50	35-45	16-18	12%
15	Horizontální stroje, hliník, slitiny hliníku	250	250	250	250	25%
16	Vertikální stroje, hliník, slitiny hliníku	5000	4000-5000	3000-4000	2000-3000	25%
17	Mosaz	250	250	180-240	140-160	4%
18	Měď	240	220	130-190	100-120	15%

Čím větší velikost, tím nižší rychlost

Rozvod zubů:

Aby pilový pás pracoval nejefektivněji, je také důležitým faktorem správně zvolený rozvod zubů. Pásky s rozvedenými zuby zabráňují sevření pásu v řezaném materiálu. [5]

Standardní rozvod (S, SW)

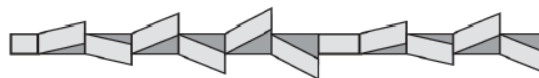
do 10 zubů na palec
tvar zubu N, H

**Skupinový rozvod (G, GW)**

0,75/1,25 + 10/14 zubu na palec
tvar zubu K

**Vlnovitý rozvod (W)**

do 14 zubů na palec
tvar zubu N

**Variabilní rozvod**

Obr. 2.10 Typy rozvodu zubů [5]

Pro příklad ukázky pásové pily je použita poloautomatická pásová pila PEGAS 240x820 SHI-R-F (obr. 2.11) a její technické parametry (tab. 2.7).

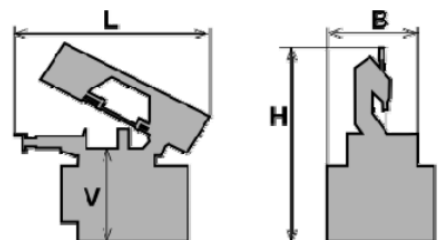


Obr. 2.11 Poloautomatická pásová pila na kov PEGAS 240x280 SHI-R-F [27]

Tab. 2.7 Technické parametry poloautomatické pásové pily PEGAS 240x280 SHI-R-F [28]
(pokračování na další straně)

ROZMĚRY

délka	šířka	výška		výška stolu	hmotnost
L	B	H _{min}	H _{max}	V	
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[kg]
1 950	1 050	1 920	1 500	910	430



ŘEZNÉ PARAMETRY

	0°	45°	60°	a	b + HP _{max}	b + HP _{min}	
	D	240	180	110	-	-	-
[mm]							
	D	150*	110*	80*	-	-	-
[mm]							
	axb	270x200	180x140	110x140	270x120	230x100	120x40
[mm]							(200x10)
	axb	260x230	160x230	110x140	270x120	230x100	120x40
[mm]							(200x10)

*doporučené hodnoty, + HP = rozměr omezený horním přtlakem

VÝKONNOSTNÍ PARAMETRY

pohon pilového pásu	[kW]	2,2
pohon hydraulického agregátu	[kW]	0,44
čerpadlo chladicí emulze	[kW]	0,05
celkový příkon	[kW]	3,0
řezná rychlost – plynule nastavitelná	[m.min ⁻¹]	20 - 100
rozměr pilového pásu	[mm]	2 980 x 27 x 0,9
elektrické zapojení		3 x 400 V, 50 Hz

PRACOVNÍ POHYBY

posuv ramene do řezu		hydraulicky
posuv materiálu		manuálně
upínání materiálu		hydraulicky
napínání pásu		manuálně
čištění pilového pásu		pasivní kartáč
chlazení	rozvodem kapaliny do vodítek pilového pásu	
	výkon = 16 [l.min ⁻¹]	obsah nádrže = 12 [l]

2.3 Kotoučové pily

Řezání kotoučovými pilami se řadí mezi nejproduktivnější způsob dělení materiálu. Mezi hlavní vlastnosti této metody patří již zmíněná vysoká produktivita, přesný řez s čistou plochou a při správné údržbě *pilového kotouče* (nástroje) i mnohem větší životnost než u předešlých metod řezání na pilách. [38]

Nástroj koná otáčivý pohyb a posuv materiálu je dán hydraulickým systémem. Velikost stroje se určuje podle velikosti pilového kotouče.

Kotoučové pily jsou vhodné pro automatizovaný provoz (automatické podávání materiálu). Dělí se na pomaloběžné a rychlořezné.

Pilové kotouče

Pilové kotouče se vyrábějí jako:

- celistvé kotouče,
- HSS rychlořezné kotouče,
- segmentové kotouče.

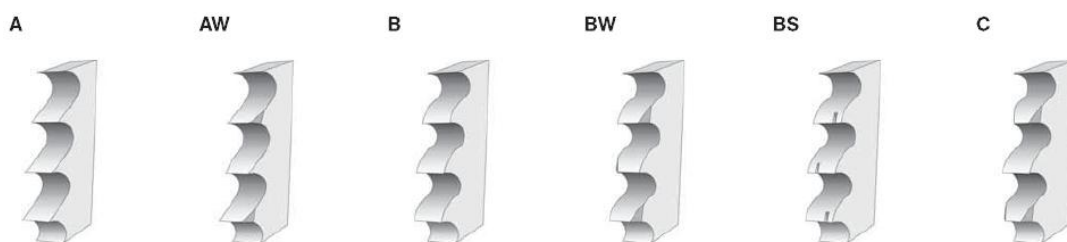
Celistvé kotouče se vyrábějí v průměrech 20 až 900 mm. Kotouč menších průměrů je upevněn příloškami, větší kotouče jsou upnuty pomocí unášecích otvorů. Tloušťka těchto kotoučů se pohybuje v rozmezí 0,2 až 6 mm. Kotouče o malé tloušťce mají v těle zhotovený tzv. *dilatační výřez* – zamezení příčné deformaci či prasknutí v průběhu řezání. U větších průměrů a tlouštěk se do těla kotouče vybrušují malé drážky pro snadnější přívod řezné kapaliny. [38]

HSS rychlořezné kotouče jsou vyrobené z rychlořezné oceli, která je ještě povrchově upravena. Díky povrchové úpravě se navyšují dosavadní vlastnosti kotoučů (např. pružnost, rozvod chladicí kapaliny po kotouči, obvodové rychlosti, odolnost při vysokých pracovních teplotách, možnost dělení zušlechtěných ocelí, kvalitnější a čistější řez, snížení tření atd.) [38]

Tvar HSS zubů (obr. 2.12):

A, AW

B, BW, BS a C



Obr. 2.12 Tvary zubů HSS kotoučů [2]

Segmentové kotouče se vyrábějí z rychlořezných ocelí nebo slinutého karbidu. Průměry kotoučů mohou být až 1 800 mm a tloušťky až 14mm. Tělo kotouče je ze zušlechtěné oceli. Po obvodu kotouče jsou nasazeny řezné segmenty, které jsou lehce vyměnitelné. To vede k nejlepší produktivitě práce. [38]

Páková kotoučová pila DRC 355

Tab. 2.8 Technické parametry pákové kotoučové pily DRC 355 [11]



Obr. 2.13 Páková kotoučová pila na kov DRC 355 [11]

TECHNICKÉ PARAMETRY

otáčky	[min ⁻¹]	1 300
jmenovitý výkon	[kW]	2,2
tloušťka stěny	[mm]	13
průřez při 90° max.	[mm]	180 x 100; 120 x 120
průřez při 90° pracovní	[mm]	132
průřez při 45° max.	[mm]	90 x 120; 90 x 90
průřez při 45° pracovní	[mm]	105
hmotnost	[kg]	23,5

2.4 Řezání děr

Princip řezání děr (obr. 2.14) pomocí děrových pil je obdobný jako u vrtání. Vyrábějí se z bimetalu nebo tvrdých kovů.

Děrové pily z bimetalu vytvářejí čisté a tvarově přesné díry do většiny obrobitelných materiálů. Tělo pily je vyrobeno z legované oceli a k němu je laserem navařen pruh zubů z rychlořezné oceli. Vyřezané průměry jsou od 14 do 210 mm a hloubka vrtu je 38 mm. [25]



Děrové pily z tvrdého kovu se používají pro řezání do keramiky, cihel, laminátu nebo tvrdého dřeva. Díky vyřazecím otvorům po obvodu pil jde jádro snadno lehce odmontovat. Řezané průměry jsou od 14 do 152 mm a hloubka vrtu je stejná jak u pil vyrobených z bimetalu. [25]

Obr. 2.14 Řezání děr [25]



Obr. 2.15 Systém děrových pil [25]

2.5 Porovnání produktivity řezání na strojních pilách

Tab. 2.9 Porovnání produktivity řezání na pilách [$\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$] podle [6]

Pila	Konstrukční ocel	Legovaná ocel
rámová	15 – 18	13 – 20
pásová	50 – 90	40 – 70
kotoučová	75 - 95	45 – 60

Z tab. 2.9 je patrné, že největší produktivity řezání se dosahuje na pilách kotoučových.

3 TECHNOLOGICKO – EKONOMICKÉ PARAMETRY PROCESU ŘEZÁNÍ

Aspektů, které mají vliv na samotný proces řezání jako takového je velmi mnoho (např. volba řezacího stroje, pilového pásu – kotouče, čistota prostředí, chladicí kapalina, atd.). V této diplomové práci jsou rozebrány pouze základní technologicko – ekonomické parametry ovlivňující dělení válcovaných materiálů.

3.1 Parametry procesu řezání

Mezi nejzákladnější technologicko – ekonomické aspekty patří zejména:

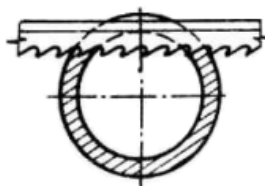
- kvalita řezu,
- řezný čas,
- náklady na provoz stroje.

Kvalita řezu má své důležité opodstatnění. Jsou-li konce řezaného válcovaného obrobku příliš strmé (šikmé), má to za následek např. větší celkovou spotřebu materiálu, jelikož při zarovnávání čel na soustruhu je třeba ubrat více materiálu, než bylo např. původně plánováno.

Příčiny nekvalitního řezu mohou být způsobeny příliš velkým tlakem ramene pily, špatně zvoleným nebo tupým pilovým pásem, nedostatečně upnutý pás či obrobek, v řezaném materiálu se nacházejí tvrdá místa, nebo je vada přímo na pile (posunutý rám, opotřebovaná ložiska atd.).

Řezný čas (strojní čas) je nejvíce sledovaným parametrem, který jednoznačně ovlivňuje další operace výroby součástí.

Nejefektivnějšího řezného času je dosaženo při maximálním počtu zubů pilového pásu v záběru. Nejvíce zubů v záběru se nachází ve středu obrobku. Ukázka počtu zubů v záběru při řezání je znázorněna na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Dělení trubky na pásové pile [31]

Náklady na provoz stroje nejsou zdaleka jediným ekonomickým parametrem, který je třeba znát pro řízení strojového parku. Dalšími potřebnými aspekty jsou kapacita využití strojů a náklady na provozní spolehlivost strojů.

Náklady na provoz strojů se člení na dvě skupiny:

- Fixní náklady zahrnují:
 - náklady na odpisy stroje,
 - náklady na garážování (uskladnění) stroje.
- Variabilní náklady obsahují:
 - náklady na energii,
 - náklady na opravy a udržování.

3.2 Experimentální stanovení vybraných parametrů řezání

Stanovení vybraných parametrů řezání probíhalo v dílenských prostorách Fakulty strojního inženýrství v Brně na pásové pile BOMAR STG 220G a na měřicím přístroji FormTalysurf Intra.

Úkolem bylo změření řezných časů pěti vzorků stejného materiálu odlišných průměrů, stanovení střední aritmetické hodnoty drsnosti řezaného povrchu, největší výšky výstupků profilu a určení výkonnosti řezání.

3.2.1 Zkušební přířezy

Přířezy (obr. 3.2) byly řezány na stejnou délku 15 mm. Všechny zkušební vzorky byly stejného materiálu - 11 600.

Rozměry: $\text{ØD}_1 = 20 \text{ mm}$

$\text{ØD}_2 = 32 \text{ mm}$

$\text{ØD}_3 = 42 \text{ mm}$

$\text{ØD}_4 = 51 \text{ mm}$

$\text{ØD}_5 = 60 \text{ mm}$



Obr. 3.2 Vzorky nařezané na pásové pile BOMAR STG 220G

Materiál 11 600

Konstrukční ocel obvyklých jakostí s vyšším obsahem uhlíku. Vhodná pro výrobu strojních součástí namáhaných staticky a dynamicky, které jsou vystaveny velkým měrným tlakům (hřídele, ozubená kola, šrouby, matice, klíny, pera atd.).

3.2.2 Pásová pila

Pásová pila BOMAR STG 220G (obr. 3.3) je vhodná pro kusovou a hromadnou výrobu. Litinová konstrukce a vedení pilového pásu ze slinutého karbidu zajišťuje dlouholetou životnost stroje i nástroje. Dosahovaný řez na této pile je poměrně přesný.

Rychlost posuvu řezu je regulována pomocí hydraulického válce. Pila je vybavena automatickým spínačem a kompletním chladicím zařízením.

Technické parametry této pily jsou uvedeny v tab. 3.1.



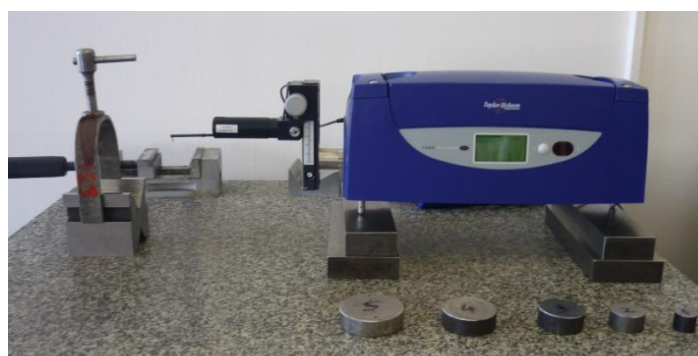
Obr. 3.3 Pásová pila BOMAR STG 220G

Tab. 3.1 Technické parametry pásové pily BOMAR STG 220G

	90° Ø220 300 x 150
řezný rozsah [mm]	45° Ø200 200 x 120
	60° Ø120 120 x 120
řezná rychlost [m.min⁻¹]	28 až 56
natočení ramene [°]	90 až 60
rozměry [mm]	1 360 x 1 200 x 900
výkon [kW]	0,65/0,9
otáčky [min⁻¹]	1 360/2 750
napětí [V]	3 x 380
pilový pás [mm]	2 710 x 25 x 0,9
hmotnost [kg]	220

3.2.3 Měřicí přístroj

Střední aritmetické a kvadratické hodnoty drsnosti řezaného povrchu byly stanoveny na měřicím přístroji FormTalysurf Intra (obr. 3.4).



Obr. 3.4 Měřicí přístroj FormTalysurf Intra

3.2.4 Hodnocené parametry

V experimentálním měření bylo zaměřeno na tři technické parametry:

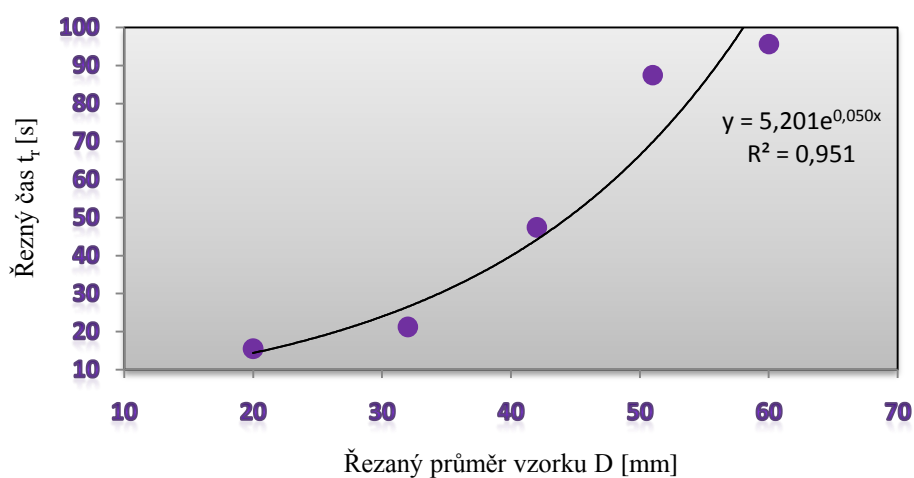
- řezný čas t_r [s],
- střední aritmetická hodnota drsnosti povrchu R_a [μm],
- největší výška výstupků profilu R_p [μm],
- výkonnost řezání Q [$\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}$].

3.2.5 Výsledky stanovených hodnot

Tab. 3.2 Naměřené hodnoty

vzorek číslo	průměr D [mm]	čas t_r [s]	hodnota R_a [μm]	hodnota R_p [μm]
1	20	15,51	10,3131	33,3824
2	32	21,26	10,2323	31,1555
3	42	47,41	9,4811	24,2836
4	51	87,45	13,7998	31,0187
5	60	95,61	8,4956	21,7718

Závislost řezného času na průměru vzorku



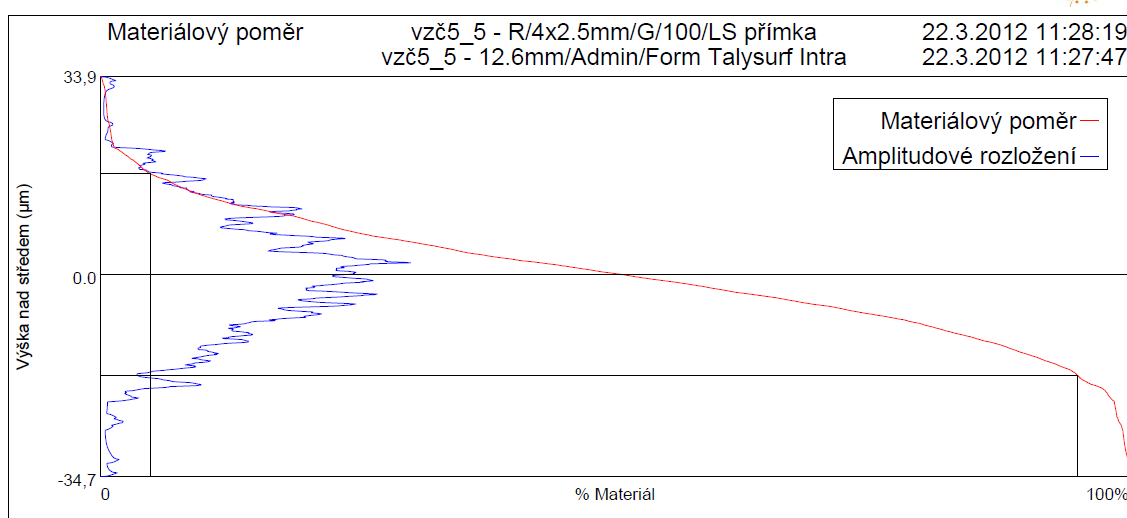
Obr. 3.4 Grafická závislost řezného času na průměru vzorku

Z grafického znázornění (obr. 3.4) vyplývá, že průběh křivky je exponenciální, což znamená, že řezný čas je **neúměrně** závislý na průměru řezaného polotovaru.

Materiálový poměr vzorku č. 5:

Pro názornost je na obr. 3.5 a 3.6 uvedeno grafické vyhodnocení materiálového poměru, střední aritmetické hodnoty drsnosti povrchu a největší výška výstupků profilu vzorku č. 5. Grafická vyhodnocení zbylých vzorků jsou uvedena v přílohách této práce.

5.12.6.29



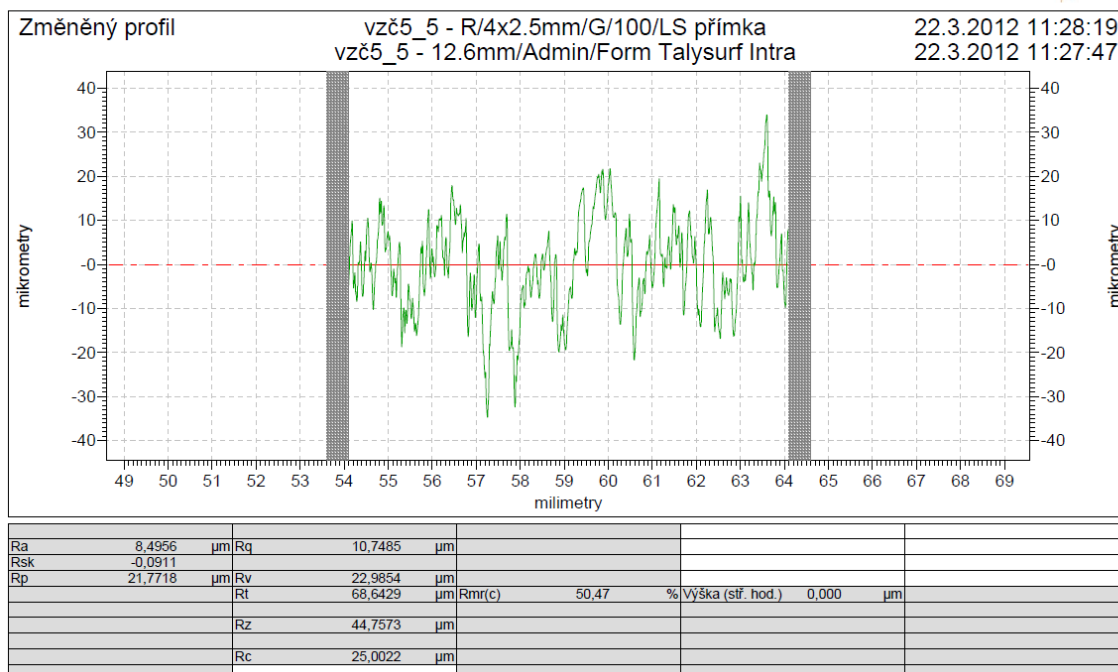
Upper Cursor		Band		Lower Cursor	
Úroveň	17,30 µm	Pásmo/Htp	34,66 µm	Úroveň	-17,37 µm
mr 1%	4,8 %	Delta mr%	89,8 %	mr 2%	94,6 %
HSC	3 výstupků	Počet výstupků	2 výst/cm	HSC	7 výstupků

Obr. 3.5 Grafické vyhodnocení materiálového poměru vzorku

Materiálový poměr je procentuální poměr délky materiálu elementů profilu na dané úrovni, k vyhodnocované délce.

Naměřená hodnoty Ra a Rp vzorku č. 5:

5.12.6.29



Obr. 3.6 Grafické vyhodnocení střední aritmetické hodnoty drsnosti povrchu a největší výška výstupků profilu vzorku

Výpočet výkonnosti řezání:

$$Q = \frac{F_r}{t_r} [cm^2 \cdot min^{-1}] \quad (3.1)$$

F_r plocha řezu [cm^2]

t_rřezný čas [min]

$$Q_1 = \frac{F_{r1}}{t_{r1}} = \frac{\frac{\pi \cdot D_1^2}{4}}{t_{r1}} = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4 \cdot t_{r1}} = \frac{\pi \cdot 2^2}{4 \cdot 0,2585} = 12,153 [cm^2 \cdot min^{-1}]$$

$$Q_2 = \frac{F_{r2}}{t_{r2}} = \frac{\frac{\pi \cdot D_2^2}{4}}{t_{r2}} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4 \cdot t_{r2}} = \frac{\pi \cdot 3,2^2}{4 \cdot 0,3543} = 22,699 [cm^2 \cdot min^{-1}]$$

$$Q_3 = \frac{F_{r3}}{t_{r3}} = \frac{\frac{\pi \cdot D_3^2}{4}}{t_{r3}} = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4 \cdot t_{r3}} = \frac{\pi \cdot 4,2^2}{4 \cdot 0,79017} = 17,533 [cm^2 \cdot min^{-1}]$$

$$Q_4 = \frac{F_{r4}}{t_{r4}} = \frac{\frac{\pi \cdot D_4^2}{4}}{t_{r4}} = \frac{\pi \cdot D_4^2}{4 \cdot t_{r4}} = \frac{\pi \cdot 5,1^2}{4 \cdot 1,4575} = 14,016 [\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}]$$

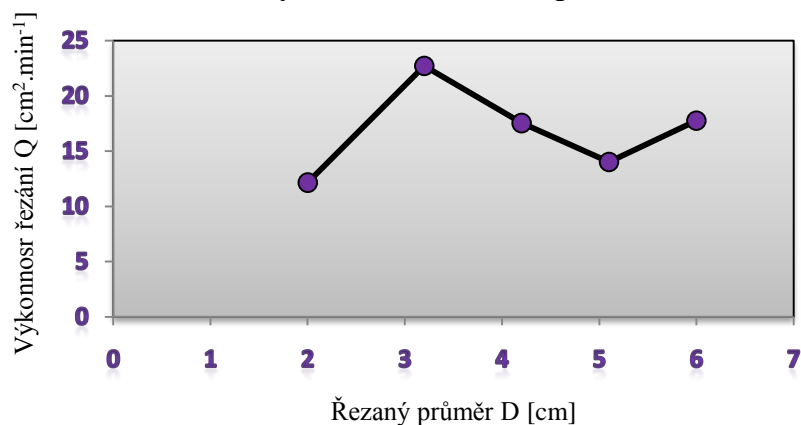
$$Q_5 = \frac{F_{r5}}{t_{r5}} = \frac{\frac{\pi \cdot D_5^2}{4}}{t_{r5}} = \frac{\pi \cdot D_5^2}{4 \cdot t_{r5}} = \frac{\pi \cdot 6^2}{4 \cdot 1,5935} = 17,744 [\text{cm}^2 \cdot \text{min}^{-1}]$$

Z vypočtených hodnot vyplývá, že nejefektivnějšího řezu, v poměru řezaného průměru za čas, bylo dosaženo při řezání vzorku č. 2.

Tab. 3.3 Celkové naměřené a vypočtené hodnoty

vzorek číslo	průměr D [mm]	čas t [s]	hodnota Ra [μm]	hodnota Rp [μm]	Výkonnost řezu Q [cm ² .min ⁻¹]
1	20	15,51	10,3131	33,3824	12,153
2	32	21,26	10,2323	31,1555	22,699
3	42	47,41	9,4811	24,2836	17,533
4	51	87,45	13,7998	31,0187	14,016
5	60	95,61	8,4956	21,7718	17,744

Závislost výkonnosti řezání na průměru vzorku



Obr. 3.7 Grafická závislost výkonnosti řezání na průměru vzorku

4 EKONOMICKÁ ANALÝZA A OPTIMALIZACE ŘEZÁNÍ

Ekonomická analýza byla prováděna ve spolupráci se společností UNEX, a.s. Uničov. Jedná se o stanovení ekonomické návratnosti investice nově koupené pásové pily POLARIS H41 (obr. 4.1) s frekvenčním měničem řezné rychlosti.



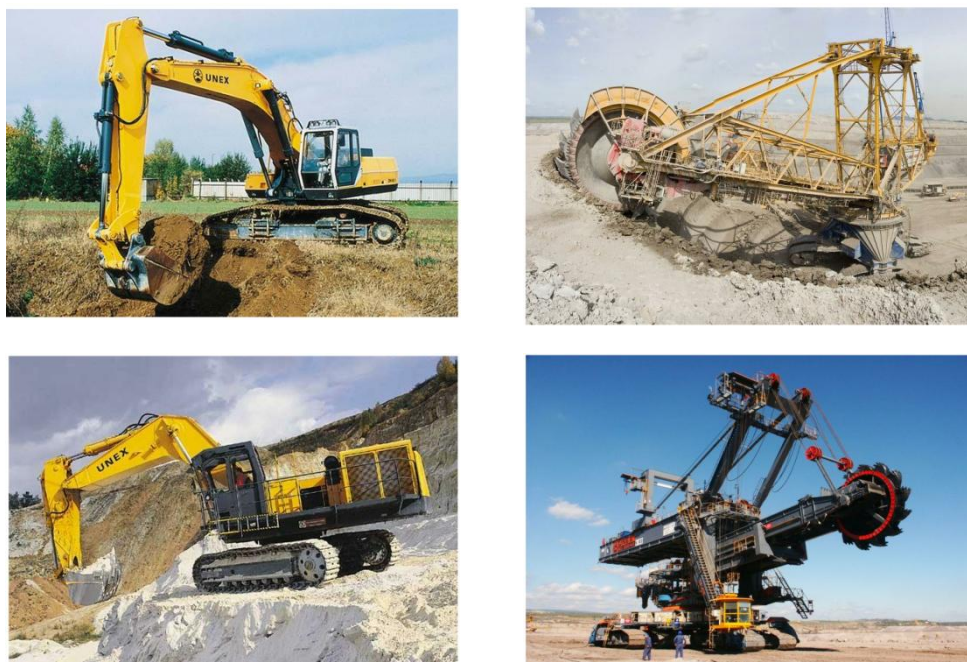
Obr. 4.1 Pásová pila POLARIS H41 [1]

Společnost UNEX, a.s.

Akciová společnost UNEX, a.s. je strojírensko – metalurgický komplex, který se specializuje na výrobu a montáž kolesových rýpadel vlastní značky (obr. 4.2) pro těžbu nerostných surovin. Tato společnost se také zabývá jejich vývojem a modernizací. [18]

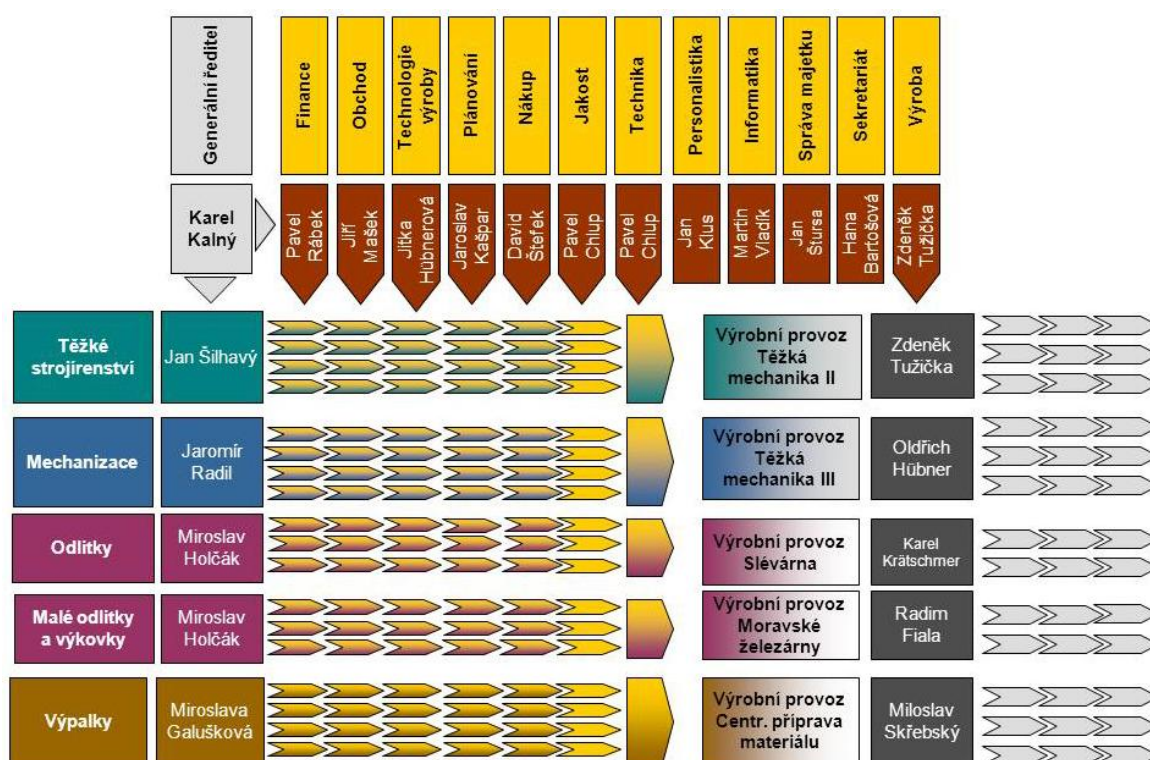
Společnost UNEX, a. s. produkuje rovněž velké svařované ocelové konstrukce. Vlastní slévárny a kovárny, díky kterým je soběstačná v zajišťování opracovaných odlitků a výkovků. [18]

název společnosti	UNEX, a.s.
právní forma podnikání	akciová společnost
sídlo společnosti	Brníčko 1032, Uničov 783 93
předmět podnikání	výroba, montáž
organizační struktura společnosti	generální ředitel – Ing. Karel Kalný ředitel výroby – Zdeněk Tužička
zaměstnanci	1 500



Obr. 4.2 Ukázka lopatových a kolesových rýpadel společnosti UNEX, a.s. [18]

Ukázka procesní struktury společnosti je znázorněna na obr. 4.3.



Obr. 4.3 Procesní struktura řízení společnosti UNEX, a.s. [17]

4.1 Důvody ke koupi pily

Možné důvody ke koupi nové pásové pily:

- posílení výrobní kapacity,
- možnost více strojové obsluhy,
- porucha současné pily by znamenala ohrožení dodržení termínů,
- zvýšení výrobní kapacity není možno z důvodu bezpečnosti a malého počtu pracovníků na výrobní hale VT 2930,
- práce přichází ve vlnách a řezárna bývá na hranici svých kapacitních možností,
- při řezání velkých průměrů z důvodů nízké řezné rychlosti dochází ke vzniku neproduktivního času dělníka (čistý strojní čas při Ø360 je cca 30 minut),
- zvýšení maximálních rozměrů řezání polotovarů,
- přesun části práce z venkovního pracoviště dovnitř,
- zmenšení šířky řezu (současný 7 mm na 1,6 mm).

Také lze považovat za výhodu to, že v současné době práci na stejný výkon vykonávají jeden kmenový zaměstnanec a jeden brigádník. Brigádník je zaměstnáván pouze v případě potřeby. Proto nelze spoléhat na to, že už naučený a spolehlivý brigádník se vrátí zpět. Nákupem pily by odpadaly problémy se zaučováním nového brigádníka, jelikož by výkon zvládl jeden kmenový zaměstnanec na dvou pilách při více strojové obsluze.

4.2 Vytížení řezárny

Tab. 4.1 Vytížení řezárny VT 2930 za měsíc únor a březen 2012

BŘEZEN 2012

STROJNÍ PÁSOVÁ PILA AUTO	Součet z Výkon	363092
	Součet z Množ	9802
	Součet z Hmotnost	87130
	Součet z Čas celkový	750
	Počet položek	1992

KOTOUČOVÁ PILA HELLER	Součet z Výkon	8953
	Součet z Množ	488
	Součet z Hmotnost	2026
	Součet z Čas celkový	18
	Počet položek	89

ÚNOR 2012

STROJNÍ PÁSOVÁ PILA AUTO	Součet z Výkon	182284
	Součet z Množ	5839
	Součet z Hmotnost	72853
	Součet z Čas celkový	377
	Počet položek	792

KOTOUČOVÁ PILA HELLER	Součet z Výkon	6507
	Součet z Množ	380
	Součet z Hmotnost	3221
	Součet z Čas celkový	13
	Počet položek	60

VT 2930 celkově

CELKEM Součet z Výkon	795971
CELKEM Součet z Množ	43029
CELKEM Součet z Hmotnost	493921
CELKEM Součet z Čas celkový	1729
CELKEM Počet položek	6619

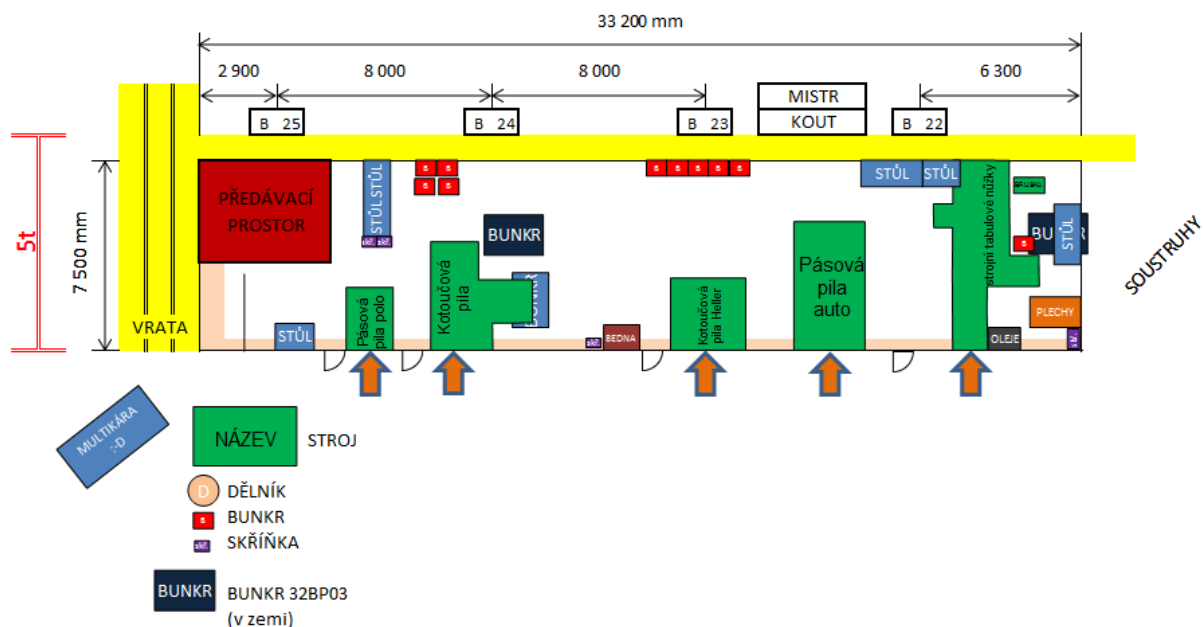
CELKEM Součet z Výkon	497008
CELKEM Součet z Množ	35488
CELKEM Součet z Hmotnost	415776
CELKEM Součet z Čas celkový	1090
CELKEM Počet položek	4315

Z tabulek jde vypořádat výkyvy ve výkonu, kdy v březnu 2012 byla řezárna na hranici svých možností oproti nevyužitému únoru téhož roku.

Kotoučová pila HELLER se téměř nepoužívala, předepsané operace technologem se prováděly na jiném stroji.

4.3 Layout řezárny

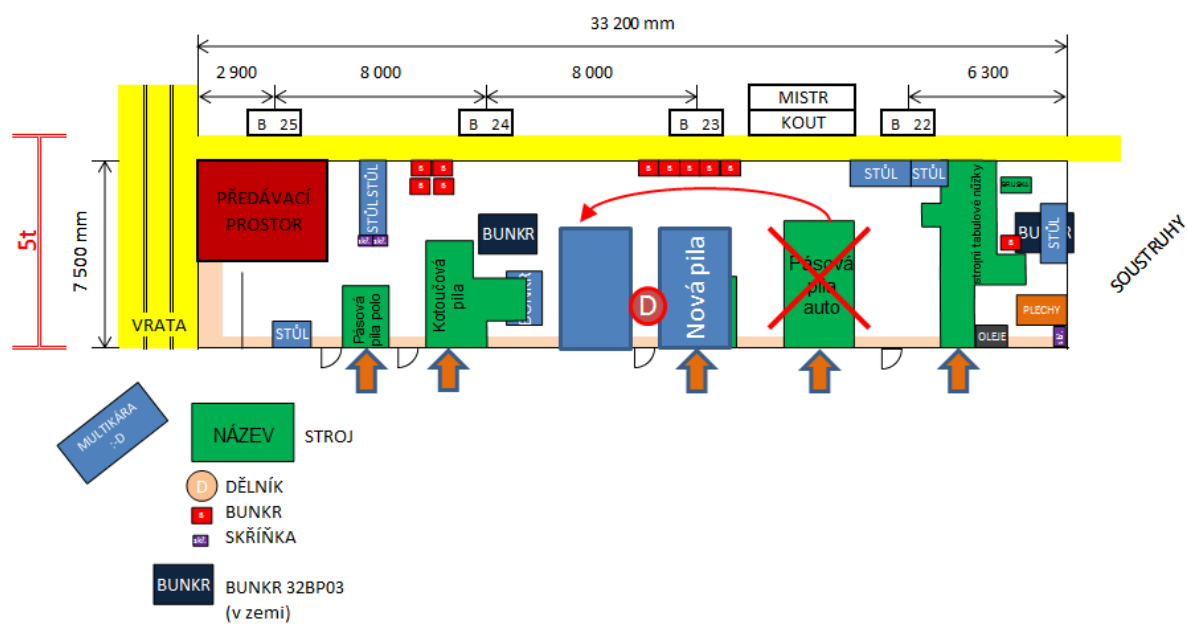
- současný stav



Obr. 4.4 Náskres současného stavu řezárny

Při nákupu nové pily by stálo za úvahu přepracování layoutu VT 2930.

- budoucí možný stav



Obr. 4.5 Náskres možného budoucího stavu po koupi nové pily

4.4 Ekonomická návratnost

Pro názornou ukázkou určení návratnosti nové pásové pily POLARIS H41 je třeba si položit otázku: „Kolik musí být naplněnost pily, aby byla návratnost 24 měsíců?“

Lze započítat snížení nákladů zmenšením šířky řezu. Také lze ušetřit v jednotlivých případech při nákupu celé tyče kvůli jednomu kusu, který by se díky velké šířce řezu na tyč nevlezl.

4.4.1 Vstupní hodnoty

• pořizovací cena pily POLARIS	900 000 Kč
• prořez kotoučem	7 mm
• prořez pásem	1,3 mm
• počet prořezů pily HELLER	488
• cena materiálu za 1 kg	22 Kč
• výkup šrotu materiálu za 1 kg	6 Kč
• průměr řezaného obrobku (teoretický)	100 mm
• hodinová mzda dělníka	130 Kč/hod.
• předpokládaná doba návratnosti	24 měsíců

Nákup nové pily udává jednoznačný cíl => úspora spotřebovaného materiálu, nákladů a ušetření počtu pracovních hodin. Uváděné ceny jsou bez DPH.

4.4.2 Úspora nákladů za materiál

- nový prořez:

$$s^* = \text{prořez kotoučem} - \text{prořez pásem} [mm] \quad (4.1)$$

$$s^* = 7 - 1,3 = \underline{5,7 \text{ mm}}$$

- délka spotřebovaného materiálu:

$$L^* = \text{počet prořezu} \cdot \text{nový prořez} [mm] \quad (4.2)$$

$$L^* = 488 \cdot 5,7 = \underline{2\,781,6 \text{ mm}}$$

- objem spotřebovaného materiálu:

$$V^* = S \cdot L^* = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L^* [m^3] \quad (4.3)$$

$$V^* = \frac{\pi \cdot 100^2}{2} \cdot 2\,781,6 = 21\,846\,686 \text{ mm}^3 = \underline{0,02185 \text{ m}^3}$$

- hmotnost spotřebovaného materiálu:

$$m^* = \rho \cdot V^* [kg] \quad (4.4)$$

$$m^* = 7\,850 \cdot 0,02185 = \underline{171,5 \text{ kg}}$$

- cena za spotřebovaný materiál:

$$C_{sp.mat.} = m^* \cdot \text{cena materiálu za 1 kg [Kč]} \quad (4.5)$$

$$C_{sp.mat.} = 171,5 \cdot 22 = \underline{3\,773 \text{ Kč}}$$

- cena získaná za šrot:

$$C_{šrot} = m^* \cdot \text{cena šrotu za 1 kg [Kč]} \quad (4.6)$$

$$C_{šrot} = 171,5 \cdot 6 = \underline{1\,029 \text{ Kč}}$$

- ušetřené náklady:

$$N = C_{sp.mat.} - C_{šrot} [Kč] \quad (4.7)$$

$$N = 3\,773 - 1\,029 = \underline{2\,744 \text{ Kč}}$$

Ušetřené náklady za materiál jsou 2 744 Kč/měsíc.

4.4.3 Potřebná úspora práce

Práce prováděna na pile HELLER je přesunuta na novou pásovou pilu POLARIS => snížení odpadu spotřebovaného materiálu vlivem snížení prořezu (přechod z řezného kotouče na pilový pás) => předpokládané zvýšení výkonu o 1% (možnost řezání větších průměrů).

Vychází se z údajů z tab. 4.1.

- měsíční plán na zaplacení:

$$\frac{\text{pořizovací cena}}{\text{doba návratnosti}} = \frac{\text{pořizovací cena}}{24 \text{ měsíců}} \text{ [Kč]} \quad (4.8)$$

$$\frac{900\,000}{24} = \underline{37\,500 \text{ Kč}}$$

- přesun měsíční práce ze stávající pily na pilu novou (výkony):

$$\text{měsíční plán na zaplacení} - \text{součet z výkonu [Kč]} \quad (4.9)$$

$$37\,500 - 9\,000 = \underline{28\,500 \text{ Kč}}$$

- ušetření šrotu na prořezu:

$$\text{přesun měsíční práce} - \text{ušetřené náklady [Kč]} \quad (4.10)$$

$$28\,500 - 2\,700 = \underline{25\,800 \text{ Kč}}$$

- zvýšení výkonu o 1% (z výkonu 150 000 Kč je rovno 1 % 1 500 Kč):

$$\text{ušetření šrotu} - 1 \% \text{ ze } 150\,000 \text{ [Kč]} \quad (4.11)$$

$$25\,800 - 1\,500 = \underline{24\,300 \text{ Kč}}$$

- potřebná úspora práce:

$$\frac{\text{zvýšení výkonu}}{\text{hodinová mzda dělníka}} \text{ [hod]} \quad (4.12)$$

$$\frac{24\,300}{130} = 186,9 \text{ hod.} = \underline{187 \text{ hod.}}$$

Je nutno ušetřit 187 hodin práce (měsíční ideál pro návratnost investice za 24 měsíců).

Jestliže se musí ušetřit 187 hodin práce, odpovídá to 50 % práce => hranice naplněnosti bude pro obě pily **374 hodin** měsíčně.

Březen (celkový čas):

Využitím vícestrojové obsluhy by se rychlost odvedené práce zvýšila o 50 %, tzn., že čas potřebný na operace by se snížil o 50 %.

750 hodin	100%
-----------	------

x hodin	50%
---------	-----

$$x = 750 \cdot 0,5 = \underline{375 \text{ hodin}}$$

V březnu by se ušetřilo 375 hodin dělníka, což je 48 750 Kč ($375 \cdot 130$), což je o 188 hodin ($375 - 187$) a 23 400 Kč ($188 \cdot 130$) více, než je plán ušetřené práce na měsíc (pro návratnost 24 měsíců).

Únor (celkový čas):

377 hodin	100%
-----------	------

x hodin	50%
---------	-----

$$x = 377 \cdot 0,5 = 188,5 \text{ hodin} = \underline{189 \text{ hodin}}$$

V únoru by se ušetřilo 189 hodin dělníka, což je 24 570 Kč, což je o 2 hodiny a 260 Kč více, než je plán ušetřené práce na měsíc (pro návratnost 24 měsíců).

V případě chybějících hodin dělníka by se v určitém měsíci neušetřilo nic a nebyl by dostatek financí na měsíční pokrytí splátky, což je 1 560 Kč.

Mezní hranici tvoří hodnota **374 hodin** práce pro pilu, jestli by se dostalo přes tuto hodnotu, pila by si na sebe vydělala dříve jak za 24 měsíců. V opačném případě, pokud by byla hodnota náplně práce nižší než 374 hodin, doba návratnosti investice by se prodlužovala.

Na jednoho dělníka na jedné směně by připadlo za měsíc 150 hodin.

ZÁVĚR

Tato studie udává komplexní přehled metod dělení nejen hutního válcovaného materiálu, ale také řezání tvarově složitých součástí. Tyto metody jsou rozvedeny v kapitole první.

V druhé kapitole jsem se zabýval konkrétním typem řezání, a to řezáním na strojních pilách na kov (pily na kov máme rámové, pásové a kotoučové). Jsou zde blíže popsány a uvedeny jednotlivé nástroje (např. materiál, tvar zubů atd.), konkrétní typy pil a jejich technické parametry.

V praktické části jsem se zaměřil na stanovení vybraných technologicko - ekonomickým parametrů ovlivňující proces řezání. Jednalo se zejména o určení řezných (strojních) časů nařezaných vzorků na fakultní pásové pile BOMAR STG 220G a stanovení střední aritmetické hodnoty drsnosti povrchu R_a a největší hodnoty výšky výstupů profilu R_p na měřicím přístroji FormTalysurf Intra. Dále následoval výpočet výkonnosti řezání Q . Po provedení výpočtů a měření jsem tyto hodnoty graficky vyhodnotil. Z grafického znázornění závislosti řezného času na průměru vzorku vyplývá, že řezný čas je neúměrné závislý a tzn., že čím větší průměr řezaného obroku je, tím je delší celkový řezný čas. Dále z určených hodnot R_a a R_p je viditelné, že řezání na pásové pile nebylo příliš kvalitní – v praxi se běžně pohybuje hodnota R_a okolo 6,3. To mohlo být zapříčiněno volnějším pilovým pásem, nedostatečným tlakem při řezu nebo dalšími možnými aspekty. Za těchto podmínek jsem početně určil, že nejefektivnějšího řezání bylo dosaženo při řezání vzorku č. 2.

V poslední kapitole jsem se věnoval ekonomické návratnosti investice koupi nové pásové pily POLARIS H41 ve společnosti UNEX, a.s. Z vypočtených hodnot jsem dospěl k závěru, že při přechodu ze stávající kotoučové pily na pilu pásovou (díky sníženému prořezu) společnost ušetří měsíčně 2 744 Kč za spotřebovaný materiál. Úkolem také bylo zjistit návratnost této investice a z uvedených výpočtů je zřejmé, že při současném jednosměnném provozu by se investice mohla vrátit, za předpokládanou dobu 24 měsíců, v podobě minimálního počtu odpracovaných hodin a to 187 hodin měsíčně.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. Automatické pásové pily: Polaris H41. *Legnex* [online]. 2011 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.legnex.cz/46,polaris-h41-cn.html>
2. HSS pilové kotouče na kov. *Pilana Tools* [online]. 2006 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: www.pilana.cz/?download=cz/pilana_hss_kotouce.pdf
3. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. MM publishing,s.r.o. Praha: 2008. 235 s. ISBN 978- 80- 254- 2250- 2.
4. Kasto hbs. *Kasto* [online]. 2006 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.kasto.cz/file/11.pdf>
5. KAŠPAR, L. *Analýza konvenční technologie dělení materiálu* [online]. Brno, 2008 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5949.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
6. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 2.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
7. Kotoučové pily: KSS 400 NA. *Kaltenbach* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.kaltenbach.com/index.php?article_id=83&itemid=93&clang=7
8. Kotoučové pily: MSK 471 NA. *Kaltenbach* [online]. 2010 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.kaltenbach.com/index.php?article_id=21&itemid=68&clang=7
9. KŘÍŽ, R. a VÁVRA, P. Strojírenská příručka 7.svazek. 1.vyd. Praha: Scientia, 1996. 212 s. ISBN 80-7183-024-0.
10. Laserové řezání. *LAO* [online]. 2011 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/aktualne/clanky-a-zpravy/serial-o-laserech/serial-laserove-rezani.htm>
11. Montážní kotoučové pily na ocel: Páková kotoučová pila na kov DRC355. *Forsteel Europe* [online]. 2011 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.forsteel.eu/kotoucova-pila-na-kov-rotadry>

12. Nástroje na řezání kovů: Technické informace k pilovým listům. *Pilana tools* [online]. 2006 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: http://www.rudaplus.com/download/katalog_Pilana-WOOD_05_CZ.pdf
13. Nekonenční metody obrábění. *Mmspektrum* [online]. 2007, roč. 2007, č. 10 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonenčni-metody-obrabeni-2-2.html>
14. Nové směry v progresivním obrábění. *Elearn* [online]. 2007 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/NSPO/texty.pdf>
15. Novinky a tiskové zprávy. *Flow International Corporation* [online]. 2009 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: <http://www.flowcorp.cz/technologie-rezani-vodnim-paprskem-26/>
16. Nůžky na plech: Pelikán. *Pochman* [online]. 2009 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: <http://www.pochman.eu/shop/nuzky-na-plech-pelikan-prave-730g-300-mm.html>
17. O společnosti: Procesní struktura. *Unex* [online]. 2008 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.unex.cz/cs/o-spolecnosti/procesni-struktura/>
18. O společnosti: Profil společnosti. *Unex* [online]. 2008 [cit. 2012-05-14]. Dostupné z: <http://www.unex.cz/cs/o-spolecnosti/profil-spolecnosti.html>
19. Obrábění ultrazvukem. *Ultrazvuk* [online]. 2007 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: <http://www.ultrazvuk.cz/index.php?mnu=79,0&PHPSESSID=0d2d7411d327b5233966f8eefacc2a6b>
20. Pákové nůžky na plech BSS 1250 E. *První hanácká BOW* [online]. 2005 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <http://www.bow.cz/produkt/3816002-pakove-nuzky-na-plech-bss-1250-e/>
21. Pásové pily. *Pegas-Gonda* [online]. 2009 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://www.pegas-gonda.cz/cz/pasove-pily.htm>
22. Pásové pily: Automatická pásová pila: Pegas 290x290 A-CNC-F. *Pegas-Gonda* [online]. 2009 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.pegas-gonda.cz/cz/pily/pasova-pila-na-kov-pegas-290x290-a-cnc-f_17.htm

23. Pásové pily: Dvousloupové - Dělení plných materiálů:850x1000 HERKULES X-CNC. *Pegas-Gonda* [online]. 2009 [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.pegas-gonda.cz/cz/pily/850x1000-herkules-x-cnc_179.htm
24. Pilové kotouče z nástrojové oceli. *Pilana Tools* [online]. 2005 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: http://www.rudaplus.com/download/katalog_Pilana-WOOD_05_CZ.pdf
25. Pilové pásy a nářadí na obrábění kovů. *Bahco* [online]. 2011 [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: http://www.bahco.com/brochures/bahco_bandsaws_metal_cutting_tools-czech.pdf
26. PÍŠKA, M. a kolektiv. Speciální technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2009. 251 s. ISBN 978-80-214-4025-8.
27. Poloautomatická pila: pásová pila na kov Pegas 240x280 SHI-R-F. *Pegas-Gonda* [online]. 2009 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.pegas-gonda.cz/cz/pily/pasova-pila-na-kov-pegas-240x280-shi-r-f_183.htm
28. Poloautomatická pila:pásová pila na kov Pegas 240x280 SHI-R-F: Technická data. *Pegas-Gonda* [online]. 2009 [cit. 2012-03-19]. Dostupné z: http://www.pegas-gonda.cz/pily_data/pdf/td/cz_240x280_shi-r,-f.pdf
29. Rámová pila. *Fischertechnik: Profi mechanic+static* [online]. 2010 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: http://stavebnice.com/eshop/images/manual_profi_mechanic-static_cz.pdf
30. RUSZ, R. *Nekonvenční způsoby dělení materiálu* [online]. Brno, 2010 [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=29211.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
31. Řezání kovů: Technologie řezání. *Informační web pro žáky: výukové materiály* [online]. 2012 [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-t1-02b_technologierezani.pdf
32. Správná volba dělicího zařízení. *Mmspektrum* [online]. 2011, č. 11 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/spravna-volba-deliciho-zarizeni.html>

33. Strojní pilové listy. *Pilana Tools* [online]. 2006 [cit. 2012-03-17]. Dostupné z: <http://www.pilana.cz/cz/strojni-pilove-listy>
34. Svařování: Plazmové řezání. *Vysoká škola báňská: Technická univerzita Ostrava* [online]. 2009 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>
35. Technologie II.: Technologie tváření kovů. *Technická univerzita Liberec, Fakulta strojní* [online]. 2011 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm#018
36. Technologie řezání vodním paprskem. *Flow International Corporation* [online]. 2009 [cit. 2012-03-16]. Dostupné z: <http://www.flowcorp.cz/technologie-rezani-vodnim-paprskem-26/>
37. Univerzální nůžky pro produktivní dělení materiálu. *Newtech* [online]. 2012 [cit. 2012-03-09]. Dostupné z: <http://www.newtech.cz/cz/lvd-stroje-na-zpracovani-plechu/tabulove-nuzky>
38. VIGNER, M., PŘIKRYL, Z. a kolektiv. Obrábění. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1984. 800 s.
39. Základní princip laseru a jejich dělení. *LAO* [online]. 2011 [cit. 2012-03-11]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/aktualne/clanky-a-zpravy/serial-o-laserech/serial-princip-a-typy-laseru.htm>
40. ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 160 s. ISBN 80-214-2219-X.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
DPH	[-]	daň z přidané hodnoty
HB	[-]	tvrdost dle Brinella
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
HSS	[-]	rychlořezný ocel
SK	[-]	slinutý karbid
TPI	[-]	hustota zubů pásu na jeden palec

Symbol	Jednotka	Popis
B	[mm]	šířka pásu
C_{sp.mat.}	[Kč]	cena spotřebovaného materiálu
C_{šrot}	[Kč]	cena šrotu spotřebovaného materiálu
F_r	[cm ²]	plocha řezu
H_{max}	[mm]	maximální výška stroje
H_{min}	[mm]	minimální výška stroje
L	[mm]	délka stroje
L*	[mm]	délka spotřebovaného materiálu
Q	[cm ² .min ⁻¹]	výkonnost řezání
Ra	[μm]	střední aritmetická hodnota drsnosti
Rc	[μm]	průměrná výška profilu
R_m	[MPa]	mez pevnosti materiálu
R_{mr(c)}	[%]	materiálový poměr profilu
Rp	[μm]	největší výška výstupků profilu
Rq	[μm]	střední kvadratická hodnota drsnosti
Rt	[μm]	celková výška profilu
Rv	[μm]	největší hloubka prohlubní profilu

Rz	[μm]	největší výška profilu
V	[mm]	výška stolu stroje
V*	[m^3]	objem spotřebovaného materiálu
h	[mm]	výška pásu
mr	[-]	interaktivní křivka
m*	[kg]	hmotnost spotřebovaného materiálu
s	[mm]	tloušťka pásu
s*	[mm]	ušetřený prořez
t	[mm]	rozteč zubů
t_r	[s]	řezný čas
v_c	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	řezná rychlost
w	[mm]	šířka rozvodu zubů
α	[°]	úhel čela
γ	[°]	úhel hřbetu
ρ	[$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	hustota materiálu

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1. Dělení plného materiálu na dělicí lince kotoučovou pilou
- Obr. 1.1 Rozčlenění konvenčních metod dělení hutního materiálu
- Obr. 1.2 Ruční nůžky na plech
- Obr. 1.3 Pákové nůžky na plech BSS 1250 E
- Obr. 1.4 Tabulové nůžky na plech LVD MVS
- Obr. 1.5 Rozčlenění nekonvenčních metod dělení materiálů
- Obr. 1.6 Schematické znázornění rezného procesu
- Obr. 1.7 Schematické znázornění jednotlivých skupenství látky
- Obr. 1.8 Princip laserového řezání
- Obr. 1.9 Schéma elektrochemického obrábění
- Obr. 1.10 Schéma elektrochemického dělení materiálu drátovou elektrodou
- Obr. 1.11 Princip řezání vodním paprskem a vznik rýhování vlivem zpoždění paprsku v řezaném materiálu
- Obr. 2.1 Klikový mechanismus uvnitř rámové pily
- Obr. 2.2 Strojní pilový list
- Obr. 2.3 Hustota zubů
- Obr. 2.4 Vlčí ozubení
- Obr. 2.5 Trojúhelníkové ozubení
- Obr. 2.6 Rámová pila KASTO HBS 1
- Obr. 2.7 Bimetalický pilový pás
- Obr. 2.8 Geometrie tvaru zubů pilových pásů
- Obr. 2.10 Typy rozvodu zubů
- Obr. 2.11 Poloautomatická pásová pila na kov PEGAS 240x280 SHI-R-F
- Obr. 2.12 Tvary zubů HSS kotoučů
- Obr. 2.13 Páková kotoučová pila na kov DRC 355
- Obr. 2.14 Řezání děr
- Obr. 2.15 Systém děrových pil
- Obr. 3.1 Dělení trubky na pásové pile

- Obr. 3.2 Vzorky nařezané na pásové pile BOMAR STG 220G
- Obr. 3.3 Pásová pila BOMAR STG 220G
- Obr. 3.4 Měřicí přístroj FormTalysurf Intra
- Obr. 3.4 Grafická závislost řezného času na průměru vzorku
- Obr. 3.5 Grafické vyhodnocení materiálového poměru vzorku
- Obr. 3.6 Grafické vyhodnocení střední aritmetické hodnoty drsnosti povrchu a největší výšky výstupků profilu vzorku
- Obr. 3.7 Grafická závislost výkonnosti řezání na průměru vzorku
- Obr. 4.1 Pásová pila POLARIS H41
- Obr. 4.2 Ukázka lopatových a kolesových rýpadel společnosti UNEX, a.s.
- Obr. 4.3 Procesní struktura řízení společnosti UNEX, a.s.
- Obr. 4.4 Nákres současného stavu řezárny
- Obr. 4.5 Nákres možného budoucího stavu po koupi nové pily

SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1	Doporučený počet zubů na 25 mm šířku listu pro jednotlivé druhy materiálu
Tab. 2.2	Technické parametry rámové pily KASTO HBS 1
Tab. 2.3	Bimetalové zuby
Tab. 2.4	Zuby z karbidu wolframu
Tab. 2.5	Doporučené řezné rychlosti bimetalových pilových pásů
Tab. 2.6	Doporučené řezné rychlosti karbidových pilových pásů
Tab. 2.7	Technické parametry poloautomatické pásové pily PEGAS 240x280 SHI-R
Tab. 2.8	Technické parametry pákové kotoučové pily DRC 355
Tab. 2.9	Porovnání produktivity řezání na pilách
Tab. 3.1	Technické parametry pásové pily BOMAR STG 220G
Tab. 3.2	Naměřené hodnoty
Tab. 3.3	Celkové naměřené a vypočtené hodnoty
Tab. 4.1	Vytížení řezárny

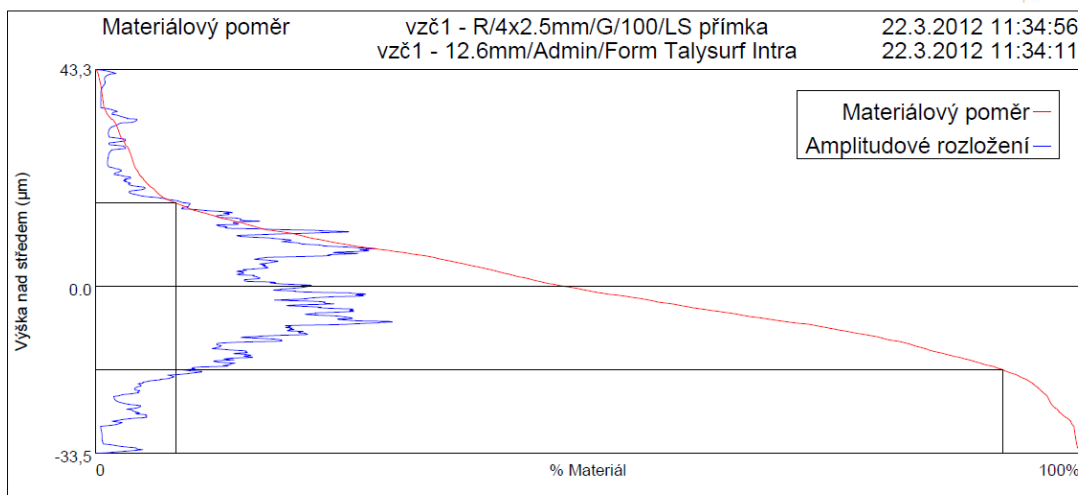
SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|---|
| Příloha 1 | Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 1 |
| Příloha 2 | Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 2 |
| Příloha 3 | Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 3 |
| Příloha 4 | Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 4 |
| Příloha 5 | Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 5 |
| Příloha 6 | Dvousloupová pásová pila s dopravníkem PEGAS 850x1000 HERKULES X-CNC |
| Příloha 7 | Automatická pásová pila PEGAS 290x290 A-CNC-F |
| Příloha 8 | Automatická univerzální kotoučová pila pro úhlový řez KALTENBACH KKS 400 NA |
| Příloha 9 | Kotoučová pila pro kolmý řez KALTENBACH MSK 471 NA |

PŘÍLOHA 1

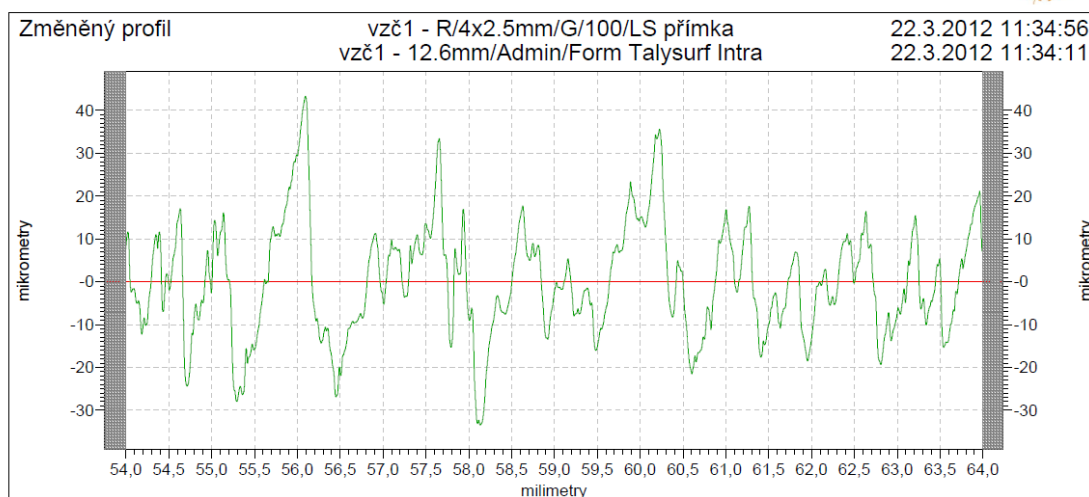
Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 1

5.12.6.29



Upper Cursor		Band		Lower Cursor	
Uroveň	16,65 μm	Pásmo/Htp	33,41 μm	Uroveň	-16,76 μm
mr 1%	8,1 %	Delta mr%	83,7 %	mr 2%	91,8 %
HSC	4 výstupků	Počet výstupků	5 výst/cm	HSC	7 výstupků

5.12.6.29

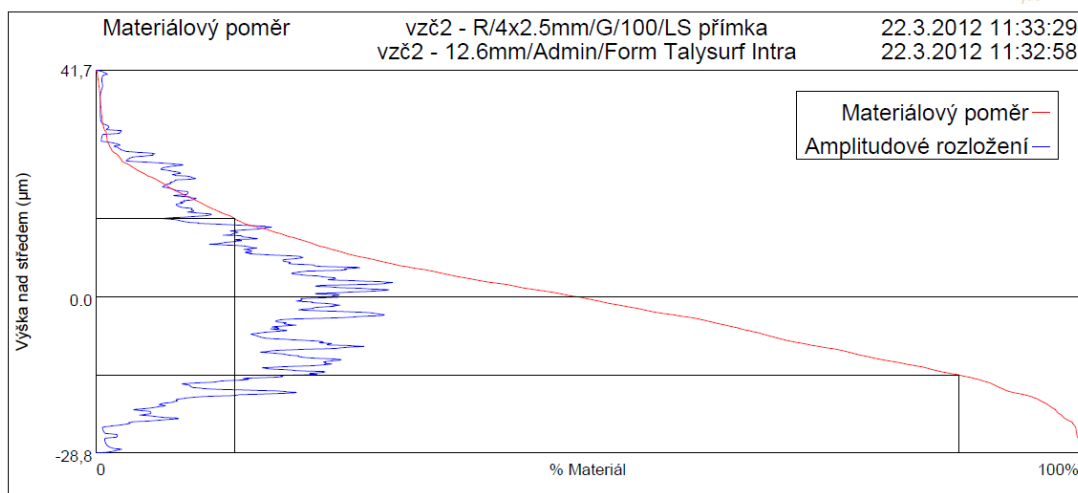


Ra	10,3131 μm	Rq	12,9627 μm			
Rsk	0,3034 μm	Rv	25,5706 μm			
Rp	33,3824 μm	Rt	76,8000 μm	Rmr(c)	47,32 %	Výška (stř. hod.) 0,000 μm
		Rz	58,9530 μm			
		Rc	34,0794 μm			

PŘÍLOHA 2

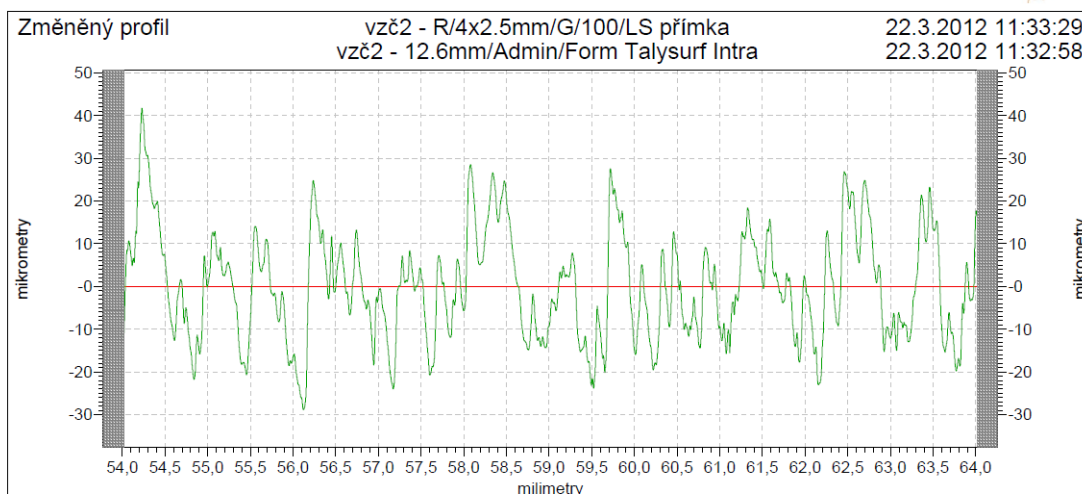
Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 2

5.12.6.29



Upper Cursor		Band		Lower Cursor	
Uroveň	14,37 µm	Pásmo/Htp	28,83 µm	Uroveň	-14,46 µm
mr 1%	14,0 %	Delta mr%	73,4 %	mr 2%	87,4 %
HSC	10 výstupků	Počet výstupků	7 výst/cm	HSC	13 výstupků

5.12.6.29

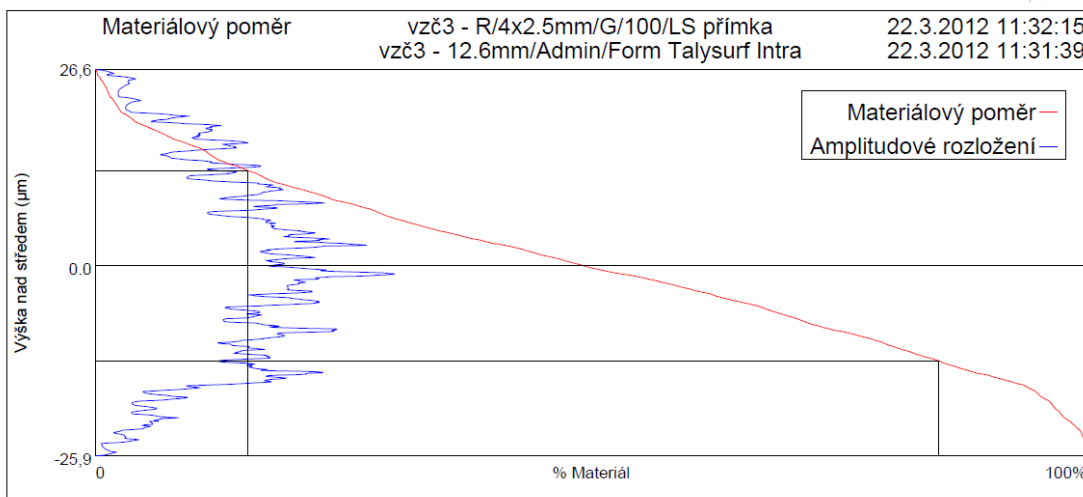


Ra	10,2323 µm	Rq	12,5947 µm		
Rsk	0,3297 µm				
Rp	31,1555 µm	Rv	24,9117 µm		
		Rt	70,5424 µm	Rmr(c)	48,62 %
				% Výška (stř. hod.)	0,000 µm
		Rz	56,0672 µm		
		Rc	33,2049 µm		

PŘÍLOHA 3

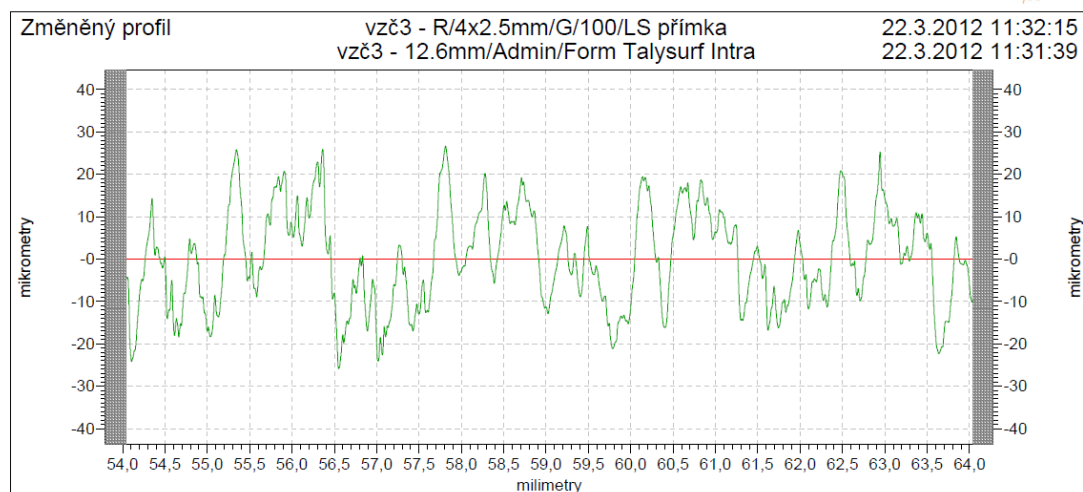
Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 3

5.12.6.29



Upper Cursor			Band			Lower Cursor		
Úroveň	12,91	μm	Pásmo/Htp	25,85	μm	Úroveň	-12,94	μm
mr 1%	15,3	%	Delta mr%	69,5	%	mr 2%	84,7	%
HSC	13	výstupků	Počet výstupků	5	výst/cm	HSC	13	výstupků

5.12.6.29

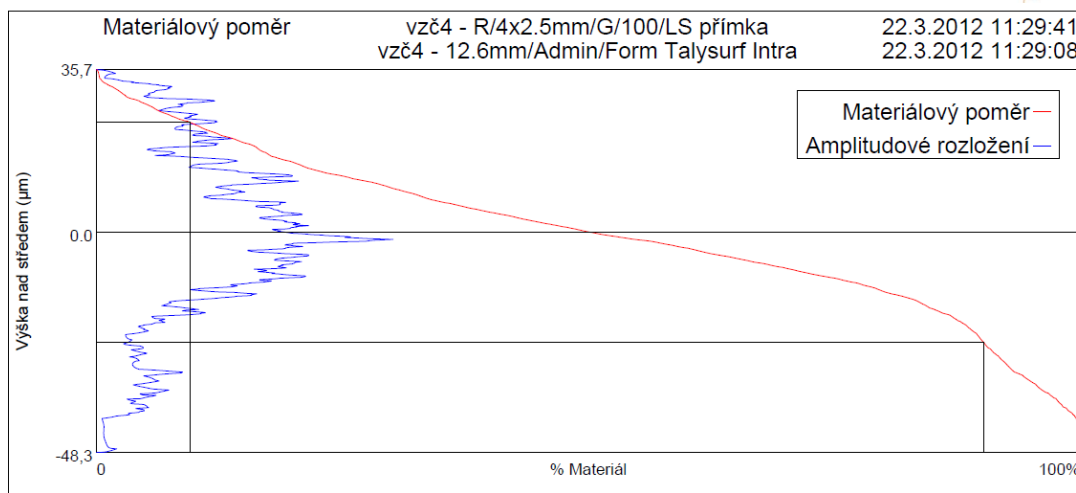


Ra	9,4811	μm	Rq	11,4168	μm			
Rsk	0,0779							
Rp	24,2836	μm	Rv	23,3645	μm			
			Rt	52,4941	μm	Rmr(c)	49,00	% Výška (stř. hod.) 0,000 μm
			Rz	47,6481	μm			
			Rc	29,2404	μm			

PŘÍLOHA 4

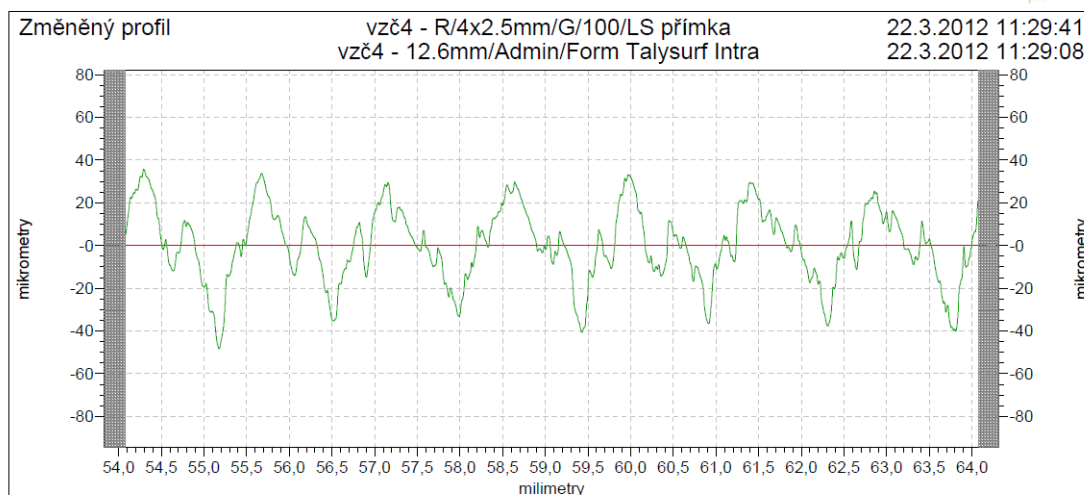
Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 4

5.12.6.29



Upper Cursor		Band		Lower Cursor	
Uroveň	24,14 μm	Pásmo/Htp	48,29 μm	Uroveň	-24,15 μm
mr 1%	9,5 %	Delta mr%	80,4 %	mr 2%	89,8 %
HSC	5 výstupků	Počet výstupků	6 výst/cm	HSC	7 výstupků

5.12.6.29

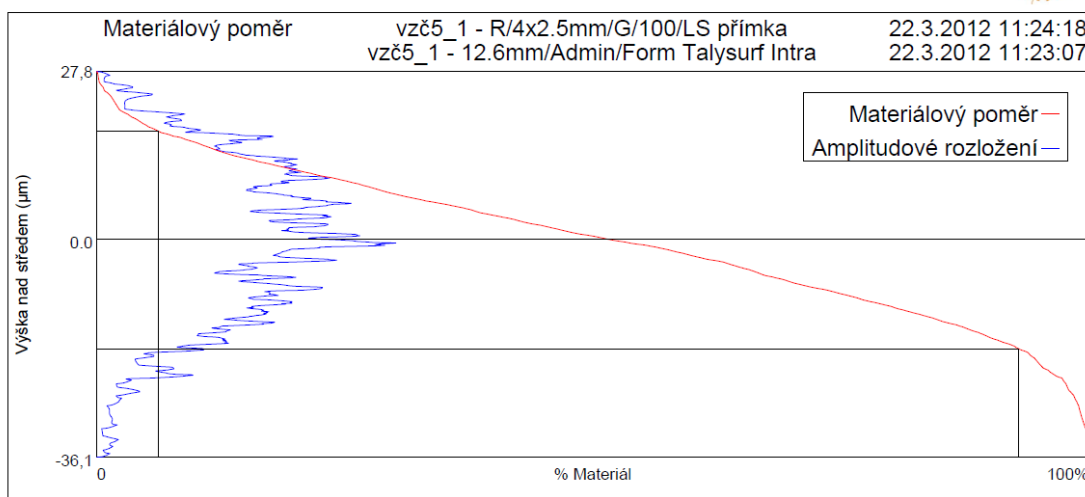


Ra	13,7998 μm	Rq	17,4067 μm			
Rsk	-0,2919 μm	Rv	40,6727 μm			
Rp	31,0187 μm	Rt	83,9754 μm	Rmr(c)	50,12 %	Výška (stř. hod.) 0,000 μm
		Rz	71,5914 μm			
		Rc	42,4956 μm			

PŘÍLOHA 5 (1/5)

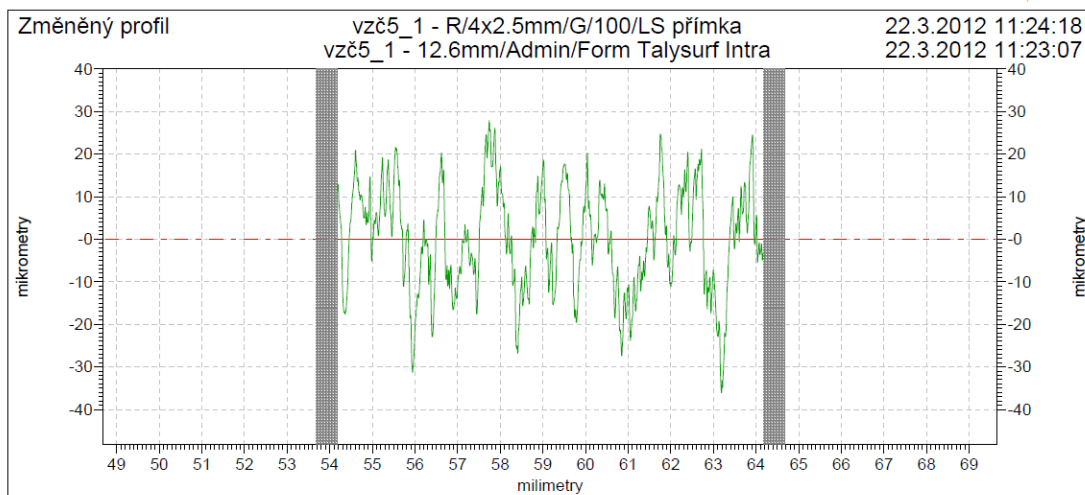
Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 5

5.12.6.29



Upper Cursor			Band			Lower Cursor		
Úroveň	18,02	μm	Pásmo/Htp	36,13	μm	Úroveň	-18,11	μm
mr 1%	6,1	%	Delta mr%	86,4	%	mr 2%	92,6	%
HSC	8	výstupků	Počet výstupků	5	výst/cm	HSC	7	výstupků

5.12.6.29

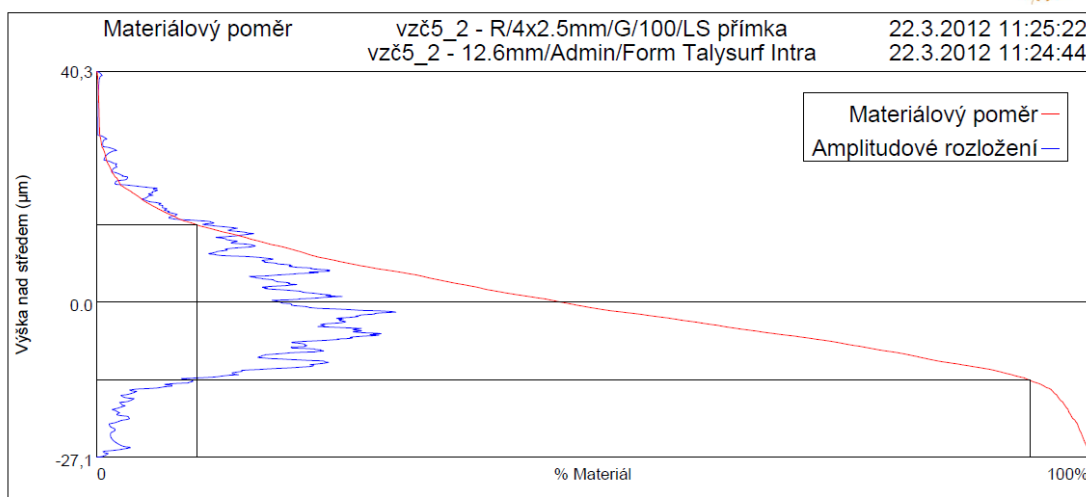


Ra	10,1652	μm	Rq	12,3625	μm			
Rsk	-0,2265	μm	Rv	30,4118	μm			
Rp	23,5739	μm	Rt	63,9449	μm	Rmr(c)	51,44	% Výška (stř. hod.) 0,000 μm
			Rz	53,9857	μm			
			Rc	32,2393	μm			

PŘÍLOHA 5 (2/5)

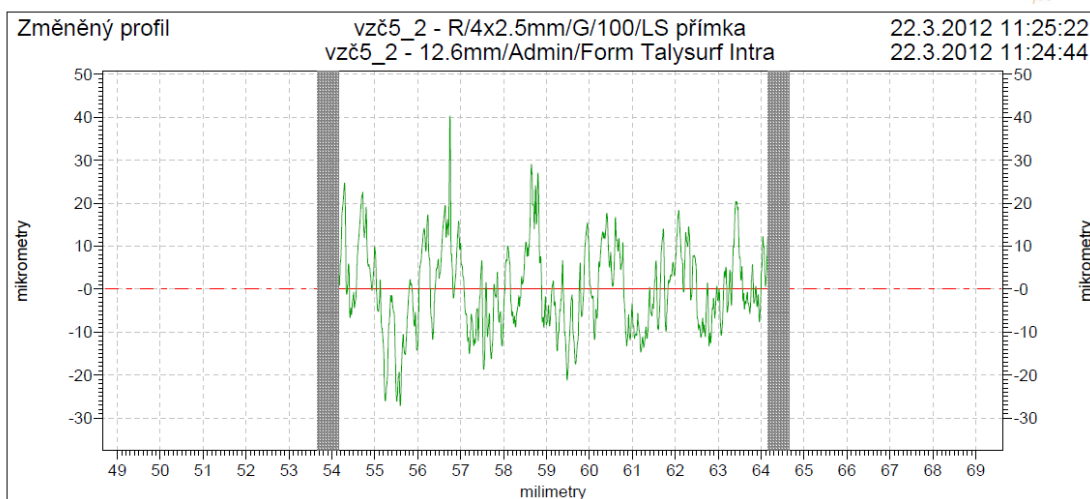
Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 5

5.12.6.29



Upper Cursor			Band			Lower Cursor		
Uroveň	13,49	µm	Pásmo/Htp	27,14	µm	Uroveň	-13,65	µm
mr 1%	10,1	%	Delta mr%	83,6	%	mr 2%	93,7	%
HSC	12	výstupků	Počet výstupků	4	výst/cm	HSC	8	výstupků

5.12.6.29

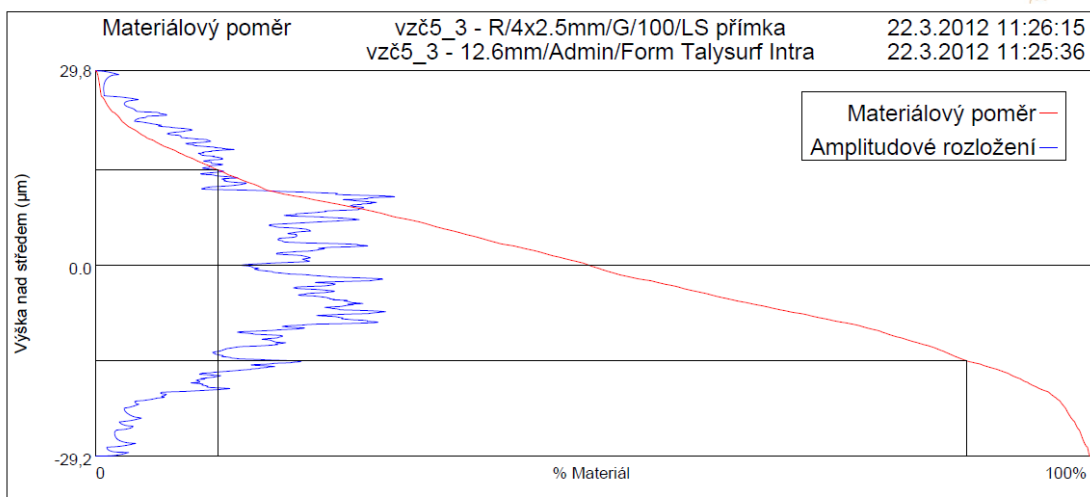


Ra	8,2390	µm	Rq	10,1909	µm			
Rsk	0,2682		Rv	20,0471	µm			
Rp	25,7634	µm	Rt	67,4340	µm	Rmr(c)	46,57	% Výška (stř. hod.) 0,000 µm
			Rz	45,8105	µm			
			Rc	26,2840	µm			

PŘÍLOHA 5 (3/5)

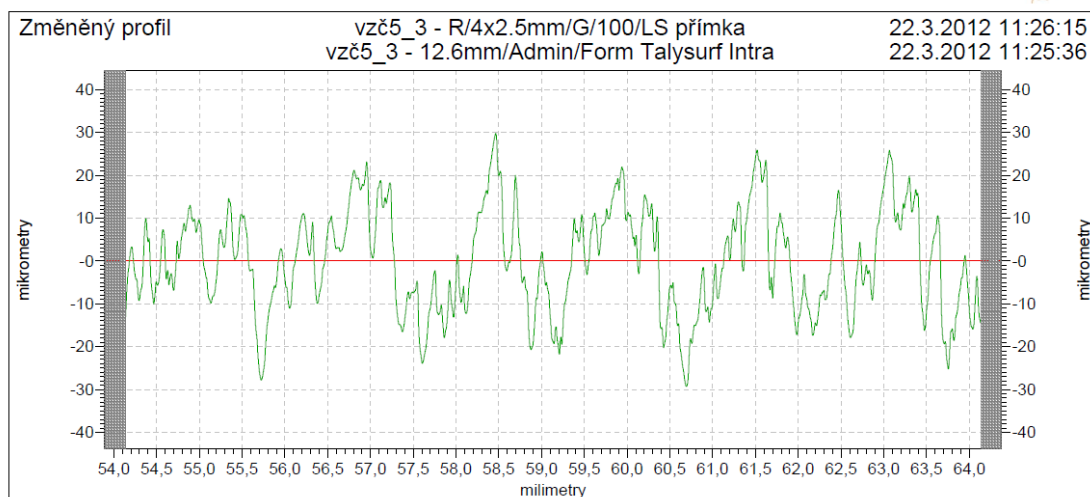
Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 5

5.12.6.29



Upper Cursor			Band			Lower Cursor		
Uroveň	14,56	µm	Pásmo/Htp	29,20	µm	Uroveň	-14,64	µm
mr 1%	12,3	%	Delta mr%	75,2	%	mr 2%	87,5	%
HSC	10	výstupků	Počet výstupků	5	výst/cm	HSC	14	výstupků

5.12.6.29

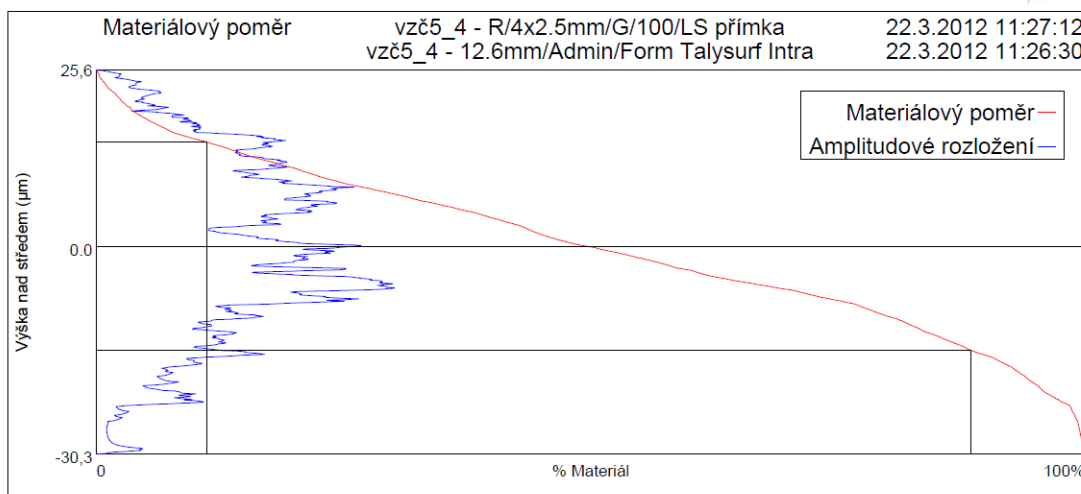


Ra	9,9554	µm	Rq	11,9216	µm			
Rsk	0,0110							
Rp	23,9984	µm	Rv	26,5315	µm			
			Rt	58,9985	µm	Rmr(c)	49,54	% výška (stř. hod.) 0,000 µm
			Rz	50,5299	µm			
			Rc	29,6163	µm			

PŘÍLOHA 5 (4/5)

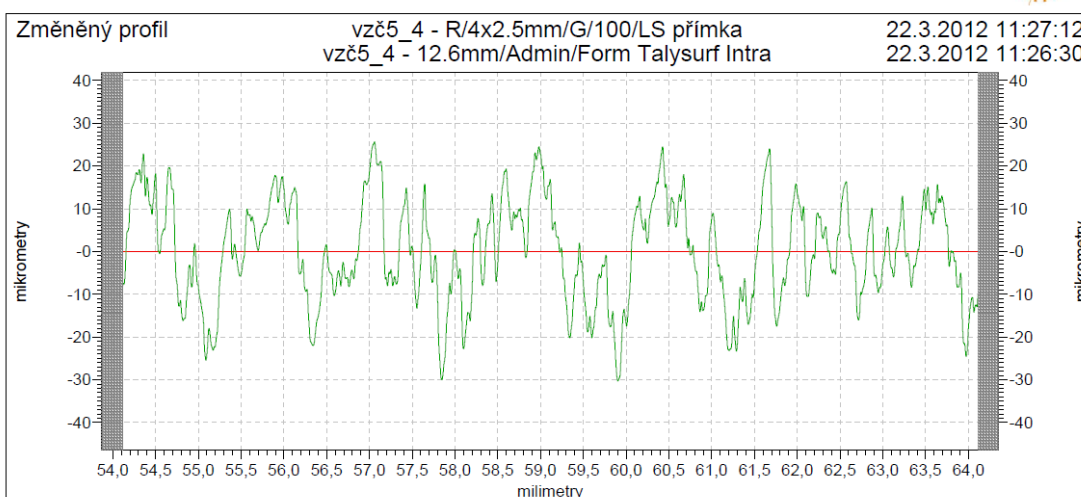
Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 5

5.12.6.29



Upper Cursor			Band			Lower Cursor		
Uroveň	15,14	µm	Pásmo/Htp	30,34	µm	Uroveň	-15,20	µm
mr 1%	11,1	%	Delta mr%	77,0	%	mr 2%	88,1	%
HSC	12	výstupků	Počet výstupků	7	výst/cm	HSC	12	výstupků

5.12.6.29

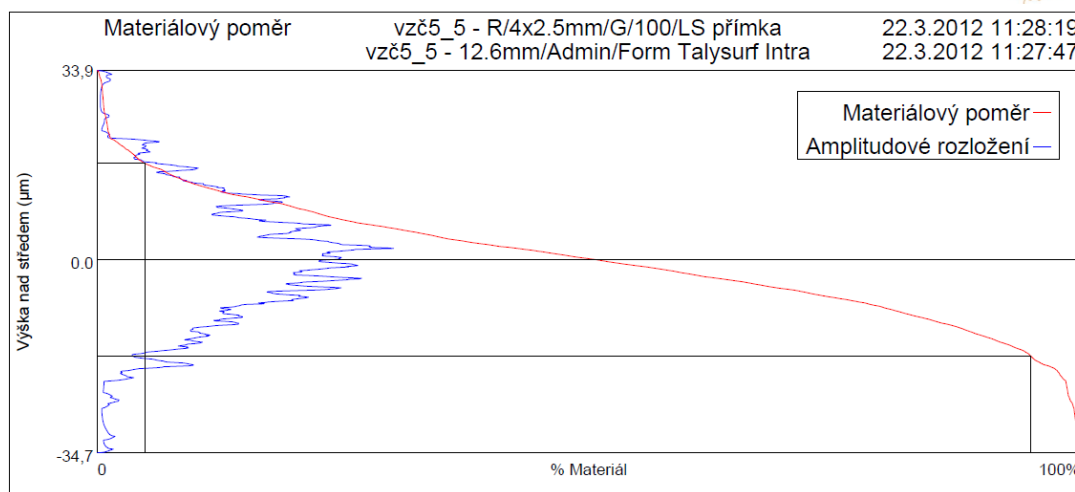


Ra	9,8936	µm	Rq	11,9013	µm			
Rsk	-0,1408		Rv	27,5598	µm			
Rp	24,2300	µm	Rt	55,9253	µm	Rmr(c)	49,35	% Výška (stř. hod.) 0,000 µm
			Rz	51,7898	µm			
			Rc	30,5468	µm			

PŘÍLOHA 5 (5/5)

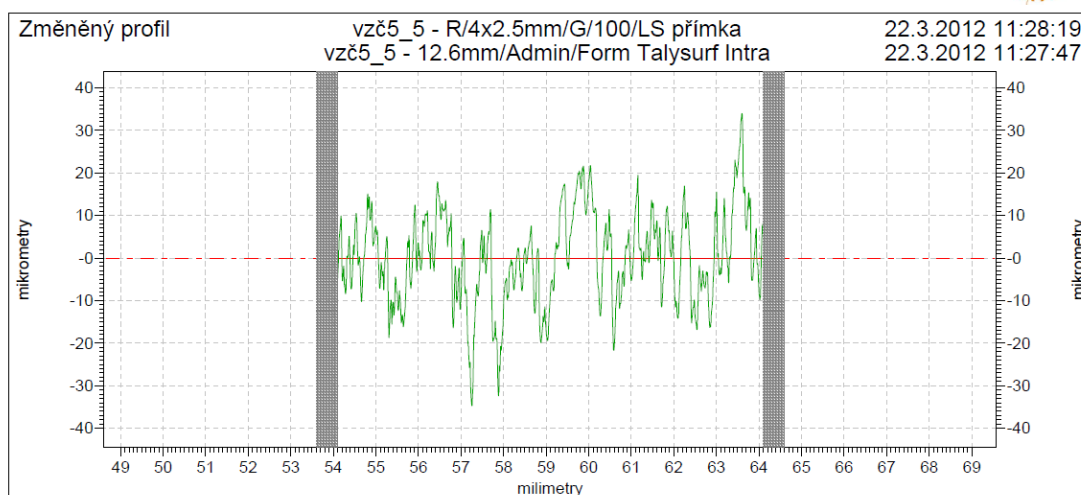
Materiálový poměr, střední aritmetická hodnota drsnosti a největší výška výstupku profilu vzorku č. 5

5.12.6.29



Upper Cursor		Band		Lower Cursor	
Uroveň	17,30 µm	Pásmo/Htp	34,66 µm	Uroveň	-17,37 µm
mr 1%	4,8 %	Delta mr%	89,8 %	mr 2%	94,6 %
HSC	3 výstupků	Počet výstupků	2 výst/cm	HSC	7 výstupků

5.12.6.29



Ra	8,4956 µm	Rq	10,7485 µm		
Rsk	-0,0911 µm	Rv	22,9854 µm		
Rp	21,7718 µm	Rt	68,6429 µm	Rmr(c)	50,47 %
				Výška (stř. hod.)	0,000 µm
		Rz	44,7573 µm		
		Rc	25,0022 µm		

PŘÍLOHA 6

Dvousloupová pásová pila s dopravníkem PEGAS 850x1000 HERKULES X-CNC [23]



PŘÍLOHA 7

Automatická pásová pila PEGAS 290x290 A-CNC-F [22]



PŘÍLOHA 8

Automatická univerzální kotoučová pila pro úhlový řez KALTENBACH KKS 400 NA [7]



PŘÍLOHA 9

Kotoučová pila pro kolmý řez KALTENBACH MSK 471 NA [8]

